

Buku Ajar Mata Kuliah

Elektronika Dasar 1



Oleh

Kurriawan Budi Pranata, M.Si

Chandra Sundaygara, M.Pd

Program Studi Pendidikan Fisika

UNIVERSITAS KANJURUHAN MALANG

2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah swt, atas segala curahan rahmat dan hidayah yang telah dibeikanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku bahan ajar sebagai pegangan mata kuliah Elektronika Dasar 1.

Dalam modul ini penulis telah melakukan berbagai penyesuaian, penambahan, dan pengurangan yang dianggap perlu. Penyusunan diupayakan sederhana dan mudah dipahami. Berbagai macam bentuk contoh soal disusun sedemikian rupa sehingga dapat menambah pemahaman materi yang ada. Pemahaman yang mendalam tentunya bisa dilakukan dengan mempelajari buku-buku referensi yang ada.

Mudah- mudahan modul ini bisa membantu para mahasiswa yang sedang mendalami Elektronika Dasar. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan buku ini. Oleh karena itu, saran dan kritik baik dari mahasiswa maupun pembaca akan sangat membantu untuk perbaikan buku ini selanjutnya.

Semoga hasil karya dari penulis ini memberikan manfaat bagi kita semua.

Malang 31 Juli 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
MODUL 1	1
BAB I ALAT UKUR MULTIMETER.....	5
1.1. Pendahuluan.....	5
1.2. Multimeter.....	5
1.3. Konfigurasi Multimeter	6
1.4. Batas Ukur (Range).....	8
1.5 Bateriai Multimeter	9
1.6 Kriteria Multimeter	9
1.7 Simbol – Simbol Alat Ukur	10
1.8 Penggunaan Multimeter	10
1.8.1 Mengukur Tegangan Listrik Arus Bolak – Balik (ACV)	10
1.8.2 Mengukur Arus Searah (DCV)	11
1.8.3 Mengukur Tahanan (Resistansi) R.....	11
1.8.4 Mengukur Variabel Resistor	12
1.8.5 Mengukur Light Dependence Resistor (LDR).....	13
1.8.6 Mengukur Thermistor	14
1.8.7 Mengukur Kapasitor	15
1.8.8 Pengukuran Dioda.....	17
1.8.9 Pengukuran Transistor	18
1.8.10 Menetapkan Kaki Emitor-Basis-Kolektor Transistor Dengan Multimeter	20
1.8.11 Pengukuran Transformator	22
1.8.12 Multimeter Sebagai Amperemeter	24
Rangkuman 1	25

Diskusi Group 1	27
Diskusi Group 2	27
Latihan 1.....	28
MODUL 2	30
BAB II OSCILOSCOPE DAN FUNCTION GENERATOR.....	33
2.1 Oscilloscope	33
2.2 Kontrol Indikator Oscilloscope.....	33
2.3 Pengoperasian Awal Oscilloscope	36
2.4 Pengukuran Dengan Oscilloscope	37
2.4.1 Mengukur Tegangan DC.....	37
2.4.2 Mengukur Tegangan AC, periode, dan frekuensi.....	38
2.4.3 Mengukur Arus Listrik AC	39
2.4.4 Mengukur Beda Fasa	40
2.4.5 Melihat Gelombang dari Input Luar	41
2.5 Function Generator	42
2.6 Kontrol Indikator Sinyal Generator/Function Generator	42
2.7 Pengoperasian Awal Function Generator	44
2.7.1 Function Generator Output.....	45
2.7.2 Sweep Generator Output	45
2.7.3 Frequency Counter.....	46
2.8 Software Proteus Sebagai Simulator Oscilloscope dan Function Generator	46
Rangkuman 2	49
Diskusi Group 3	50
Diskusi Group 4	50
Latihan 2	52
MODUL 3	53
BAB III. LISTRIK SEARAH DAN BOLAK - BALIK	
3.1 Aliran Listrik.....	55
3.2 Arus Listrik	55

3.3 Kuat Arus Listrik	57
3.4 Beda Potensial	58
3.5 Hukum Ohm.....	59
3.6 Hukum Kirchoff.....	61
3.6.1 Hukum I Kirchoff.....	61
3.6.2 Hukum II Kirchoff	63
3.7 Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Sederhana	64
3.8 Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Majemuk (Kompleks)	66
3.9 Rangkaian Hambatan Listrik	69
3.9.1 Rangkaian Hambatan Seri.....	69
3.9.2 Rangkaian Hambatan Pararel	70
3.10 Daya Listrik dalam Kehidupan Sehari- Hari.....	72
3.11 Rangkaian Arus Bolak -Balik	74
3.11.1 Rangkaian Resistor AC	76
3.11.2 Rangkaian Induktor AC	78
3.11.3 Rangkaian Kapasitor AC.....	81
3.11.4 Rangkaian Seri RLC	83
3.11.5 Daya Pada Rangkaian Arus Bolak Balik	86
Rangkuman 3	88
Diskusi Group 5	89
Latihan 3	90
MODUL 4	92
BAB IV RANGKAIAN LISTRIK	
4.1 Definisi- Definisi.....	93
4.2 Arus Listrik Dalam Teori Rangkaian.....	94
4.3 Tegangan Dalam Teori Rangkaian.....	95
4.4 Energi Pada Elemen Listrik	95
4.5 Daya Secara Matematis.....	97
4.6 Analisis Rangkaian.....	97
4.7 Elemen Rangkaian	97

4.7.1 Elemen Aktif	99
4.7.2 Elemen Pasif.....	101
4.8. Hal- hal Yang Perlu Diperhatikan dalam Analisis Rangkaian.....	104
4.9. Hukum Ohm Pada Bahan Penghantar.....	106
4.10. Hukum Kirchoff I/ Kirhoff's Current Law (KCL).....	106
4.11 Hukum Kirchoff II/ Kirhoff's Voltage Law (KVL)	107
4.12 Hubungan Seri dan Pararel Rangkaian	109
4.13 Metode Analisis Rangkaian	119
4.13.1 Analisis Node	119
4.13.2 Analisis Mesh atau Arus Loop.....	124
4.13.3 Analisis Arus Cabang.....	128
DAFTAR PUSTAKA	131

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1(a) Multimeter Analog (b) Multimeter Digital	5
Gambar 1.2 Konfigurasi dan Kontrol Indikator Multimeter beserta Kabel Penyidik	6
Gambar 1.3 Papan Skala	7
Gambar 1.4 Diagram Sirkuit Pemasangan Baterai didalam Multimeter.....	9
Gambar 1.5 Simbol Alat Ukur	10
Gambar 1.6 Pengukuran ACV	10
Gambar 1.7 Pengukuran DCV	11
Gambar 1.8 Pengukuran Tahanan/ Resistance.....	12
Gambar 1.9 Variabel Resistor (A) Potensio (B) Preset/ Trimpot.....	12
Gambar 1.10 Pengukuran Variabel Resistor	13
Gambar 1.11 Pengukuran LDR.....	14
Gambar 1.12 Pengukuran Thesmistor.....	15
Gambar 1.13 Pengukuran Kapasitor Polar.....	16
Gambar 1.14 Pengukuran Kapasitor Non Polar	17
Gambar 1.15 Pengukuran Dioda	18
Gambar 1.16 (a) Transistor (b) Simbol Elektris dan Model Sistem Transistor NPN dan PNP.....	18
Gambar 1.17 Pengukuran Transistor.....	19
Gambar 1.18 Menetapkan Kaki Transistor	20
Gambar 1.19 (a) Bentuk Real Transformator (b) Lambang Elektris Transformator (c) Model Sistem Transformator	22
Gambar 1.20 Pengukuran Transformator.....	23
Gambar 1.21 (a) Baterai Didalam Multimeter Terhubung Seri dengan baterai yang diukur (b) Pada Titik Tertentu Rangkaian Diputus Kemudian Arusnya Diukur	24
Gambar 2.1 Tampilan Depan Oscilloscope.....	34
Gambar 2.2 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Tegangan DC (b) Hasil Pengukuran Tegangan DC di Layar Osciloskop	38

Gambar 2.3 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Frekuensi (b) Hasil Pengukuran Tegangan AC di Layar Osciloskop	39
Gambar 2.1 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Arus Listrik AC (b) Hasil Pengukuran Tegangan 50 mV/div	40
Gambar 2.5 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Beda Fasa (b) Hasil Pengukuran beda fasa di Layar Osciloskop	41
Gambar 2.6 Bentuk Gelombang dari Input Luar (Jaringan Listrik, TV, dan Mobil)	42
Gambar 2.7 Tampilan Depan Sinyal Generator	43
Gambar 3.1 (a) Rangkaian listrik terbuka (b) Rangkaian listrik tertutup.....	55
Gambar 3.2 Aliran muatan listrik positif dari A ke B identik dengan aliran air dari A ke B yang disebut arus listrik. (a) Aliran listrik (b) Aliran air.....	56
Gambar 3.3 J.J Thompson.....	56
Gambar 3.4 Muatan listrik pada beberapa benda.....	58
Gambar 3.5 Grafik hubungan antara kuat arus dengan beda potensial	60
Gambar 3.6 Jumlah arus tiap titik pada rangkaian bercabang.....	61
Gambar 3.7 Soal Rangkaian 1	62
Gambar 3.8 Soal Rangkaian 2.....	62
Gambar 3.9 Tanda positif dan negatif ggl.....	64
Gambar 3.10 Rangkaian tertutup	64
Gambar 3.11 Rangkaian satu loop	66
Gambar 3.12 Rangkaian dua loop.....	67
Gambar 3.13 Rangkaian soal 3	67
Gambar 3.14 Rangkaian hambatan seri (a) Lampu disusun seri (b) Simbol rangkaian (c) Hambatan pengganti	69
Gambar 3.15 Rangkaian hambatan parallel (a) Lampu disusun paralel (b) Simbol rangkaian (c) Hambatan pengganti	70
Gambar 3.16 Diagram fasor arus dan tegangan berfase sama	75
Gambar 3.17 (a) Rangkaian AC dengan sebuah resistor (b) Arus berfase sama dengan tegangan (c) Diagram fasor arus dan tegangan	76

Gambar 3.18 (a) Rangkaian AC dengan sebuah inductor (b) Arus berbeda fase dengan tegangan (c) Diagram fasor arus dan tegangan yang berbeda fase.....	78
Gambar 3.19 (a) Rangkaian AC dengan sebuah kapasitor (b) Perbedaan potensial melalui kapasitor terhadap arus (c) Diagram fasor rangkaian kapasitif.....	81
Gambar 3.20 Rangkaian AC dengan sebuah kapasitor (b) Perbedaan potensial melalui kapasitor terhadap arus (c) Diagram fasor rangkaian kapasitif.....	83
Gambar 4.1 Arus Searah	94
Gambar 4.2 Arus Bolak Balik	94
Gambar 4.3 Konsep Terminal Tegangan	95
Gambar 4.4 Konsep elemen menyerap energi	96
Gambar 4.5 Konsep elemen mengirim energi.....	96
Gambar 4.6 Sumber Tegangan Bebas	99
Gambar 4.7 Sumber Tegangan Tak Bebas.....	100
Gambar 4.8 Simbol Arus Bebas.....	100
Gambar 4.9 Simbol Arus Tidak Bebas	100
Gambar 4.10 Simbol Resistor dalam Rangkaian	101
Gambar 4.11 Simbol Kapasitor dalam Rangkaian.....	102
Gambar 4.12 Simbol Induktors dalam Rangkaian	103

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Pengukuran pengosongan baterai dengan Multimeter	27
Tabel 1.2 Pengukuran analisa trouble shotting komponen	27

MODUL 1

Petunjuk Penggunaan

Pada modul 1 ini terdiri dari satu bab yang membahas tentang penggunaan alat ukur elektronika yaitu Multimeter dan menampilkan konfigurasi alat tersebut. Sekaligus menjelaskan dan membuktikan kegunaan tiap-tiap perangkat/panel atau kontrol indikator yang ada pada alat-alat ukur tersebut, berikut cara-cara penggunaannya berdasarkan standar prosedur operasi yang terkait dengan keselamatan kerja.

Baca dan pelajari dengan teliti isi Modul 1 ini. Ambillah alat dan bahan yang diperlukan. Berpedoman pada modul, telitilah dengan cermat tiap-tiap perangkat dari alat ukur elektronik berikut kegunaannya. Perhatikan keselamatan kerja. Jangan segan-segan bertanya dan berdiskusi. Terakhir, kerjakan soal-soal yang disediakan di akhir bab untuk mengetahui tingkat pemahaman dan ketuntasan Anda dalam mempelajari Modul 1 ini.

Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari Modul 1 ini diharapkan Anda dapat melakukan percobaan:

1. Menggunakan Multimeter untuk mengukur besaran listrik, seperti; tegangan (Voltage), tahanan/resistan (resistance), dan arus (current) listrik.
2. Memahami dan membuktikan kegunaan dari masing – masing perangkat yang terdapat pada Multimeter Analog dan Digital
3. Mem-praktek-kan pemanfaatan Multimeter untuk memeriksa/mengidentifikasi komponen elektronika di luar rangkaian (circuit), elektronik, apakah komponen tersebut masih baik dan dapat digunakan atau sudah rusak, dengan cara mengukur nilai tahanan/resistan (resistance) dari komponen.
4. Mampu menggunakan alat ukur elektronik Multimeter dengan baik, aman, sesuai dengan standar prosedur operasi dan keselamatan kerja.

Indikator Pembelajaran

1. Menggunakan dan membuktikan penggunaan alat ukur elektronik kegunaan perangkat/panel yang terdapat pada Multimeter.
2. Mampu membaca papan skala pada Multimeter dengan benar.
3. Mampu mengatur saklar jangkauan ukur pada batas ukur (range) yang dibutuhkan pada batas ukur (range) yang dibutuhkan pada Multimeter Analog dan Digital.
4. Melakukan persiapan awal sebelum menggunakan alat ukur elektronik untuk keperluan pengukuran dengan peneraan angka nol dengan menggunakan sekrup pengatur posisi jarum (preset) pada Multimeter Analog.
5. Mengukur Tegangan Listrik Arus Bolak Balik/Alternating Current Voltage/ACV dengan kisaran tegangan antara 110-220 Volt ACV.
6. Mengukur Tegangan Listrik Arus Searah/Direct Current Voltage/DCV pada tegangan rendah (low Voltage), dengan kisaran tegangan antara 0-24 Volt DCV.
7. Mengukur arus searah dalam satuan mili-Ampere (mA) dan mikro-Ampere (μ A).
8. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada tahanan/resiatance dengan menggunakan Multimeter.
9. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada variabel resistor dengan menggunakan Multimeter.
10. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada sensor LDR dengan menggunakan Multimeter.
11. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada sensor Thermistor PTCR dan Thermistor NTCR dengan menggunakan Multimeter.
12. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada kapasitor polar dan non polar dengan menggunakan Multimeter.
13. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada dioda dengan menggunakan Multimeter.

14. Mampu mengidentifikasi kerusakan pada transistor dan menetapkan kaki emitor-basis-kolektor dari transistor dengan menggunakan Multimeter.
15. Mampu mengidentifikasi kerusakan dan melakukan pengukuran pada transformator dengan menggunakan Multimeter.
16. Mampu menggunakan multimeter sebagai amperemeter.

BAB I

ALAT UKUR MULTIMETER

1.1 Pendahuluan

Salah satu syarat yang dibutuhkan untuk dapat membaca buku ini adalah pemahaman tentang alat ukur elektronik serta kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Pada bab pertama ini dibahas beberapa teori dasar tentang konfigurasi alat ukur elektronik yang paling dasar, serbaguna dan mudah didapatkan dipasaran yaitu Multimeter. Sekaligus menjelaskan dan membuktikan kegunaan tiap-tiap perangkat/panel atau kontrol indikator yang ada pada alat ukur tersebut, berikut ini akan dipaparkan konsep dasar Multimeter beserta cara-cara penggunaannya berdasarkan standar prosedur operasi yang terkait dengan keselamatan kerja.

1.2 Multimeter

Multimeter yang diuraikan pada modul ini adalah Multimeter Analog yang menggunakan kumparan putar untuk menggerakkan jarum penunjuk papan skala. Multimeter ini yang banyak dipakai karena harganya relatif terjangkau. Jika pada Multimeter Digital hasil pengukuran langsung dapat dibaca dalam bentuk angka yang tampil pada layar display, pada Multimeter analog hasil pengukuran dibaca lewat penunjukan jarum pada papan skala. Lihat Gambar 1.1 dan Gambar 1.2..



(a)

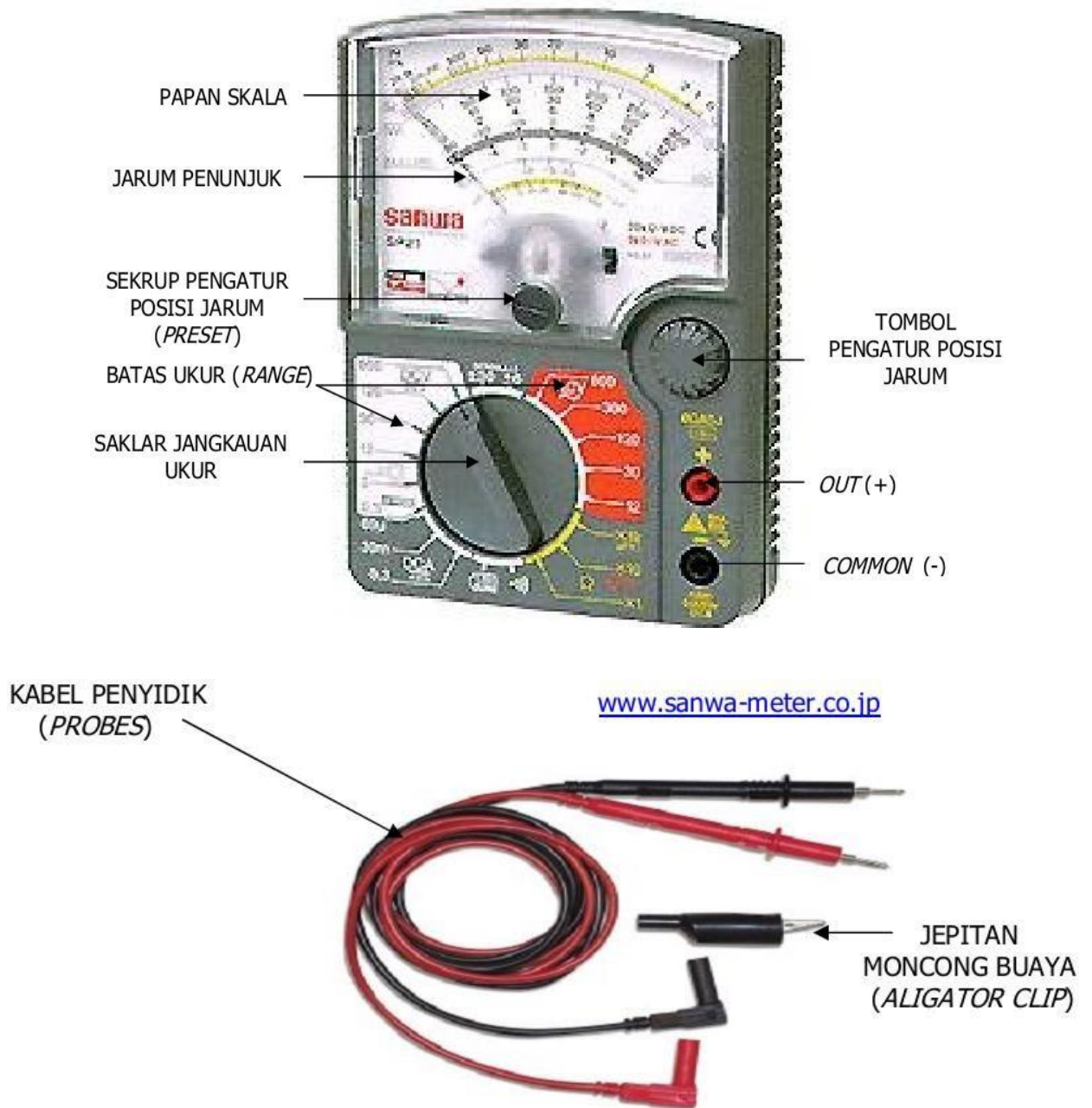


(b)

Gambar 1.1 (a) Multimeter Analog (b) Multimeter Digital

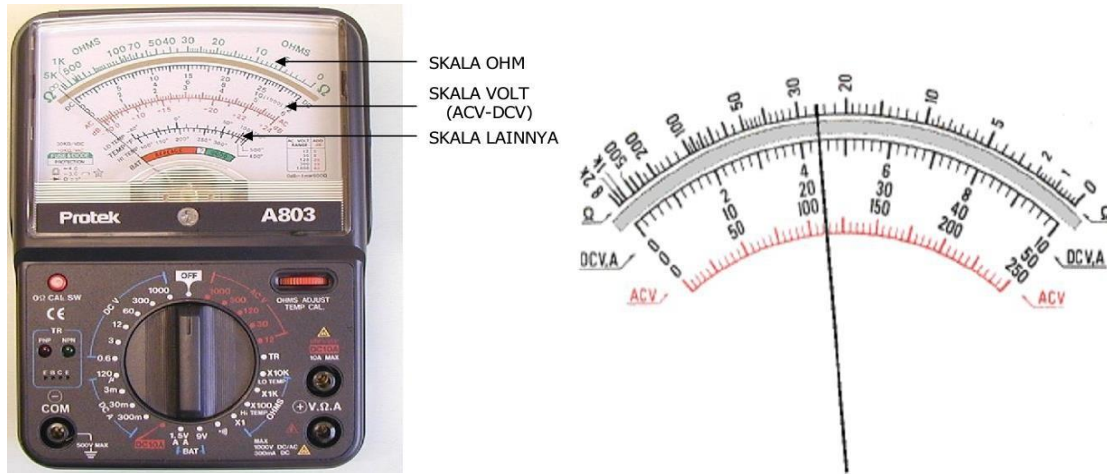
1.3 Konfigurasi Multimeter

Konfigurasi Multimeter dan kontrol indikator yang terdapat pada sebuah Multimeter diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Konfigurasi dan Kontrol Indikator Multimeter beserta Kabel Penyidik

1. **Papan skala** : digunakan untuk membaca hasil pengukuran. Pada papan skala terdapat skala-skala; tahanan/resistan (resistance) dalam satuan Ohm (Ω), tegangan (ACV dan DCV), kuat arus (DCmA), dan skala-skala lainnya. Lihat Gambar 1.3



Gambar 1.3 Papan Skala

2. **Saklar Jangkauan Ukur** : digunakan untuk menentukan posisi kerja Multimeter, dan batas ukur (range). Jika digunakan untuk mengukur nilai satuan tahanan (dalam Ω), saklar ditempatkan pada posisi Ω , demikian juga jika digunakan untuk mengukur tegangan (ACV-DCV), dan kuat arus (mA- μ A). Satu hal yang perlu diingat, dalam mengukur tegangan listrik, posisi saklar harus berada pada batas ukur yang lebih tinggi dari tegangan yang akan diukur. Misal, tegangan yang akan diukur 220 ACV, saklar harus berada pada posisi batas ukur 250 ACV. Demikian juga jika hendak mengukur DCV.
3. **Sekrup Pengatur Posisi Jarum (preset)** : digunakan untuk menara jarum penunjuk pada angka nol (sebelah kiri papan skala).
4. **Tombol Pengatur Jarum Pada Posisi Nol (Zero Adjustment)** : digunakan untuk menara jarum penunjuk pada angka nol sebelum Multimeter digunakan untuk mengukur nilai tahanan/resistan. Dalam

praktek, kedua ujung kabel penyidik (probes) dipertemukan, tombol diputar untuk memosisikan jarum pada angka nol.

5. **Lubang Kabel Penyidik** : tempat untuk menghubungkan kabel penyidik dengan Multimeter. Ditandai dengan tanda (+) warna merah atau out dan (-) warna hitam atau common. Pada Multimeter yang lebih lengkap terdapat juga lubang untuk mengukur *hfe* transistor (penguatan arus searah/DCmA oleh transistor berdasarkan fungsi dan jenisnya), dan lubang untuk mengukur kapasitas kapasitor.

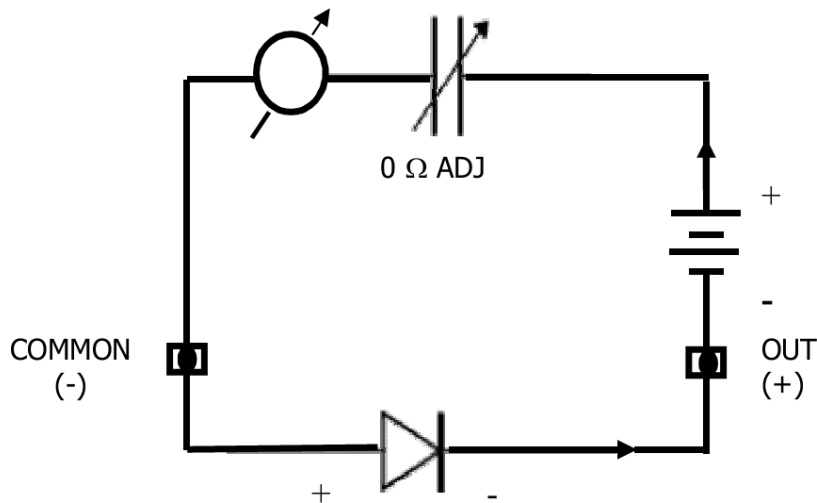
1.4 Batas Ukur (Range)

1. **Batas Ukur (Range) Kuat Arus** : biasanya terdiri dari angka-angka; 0,25 – 25 – 500 mA. Untuk batas ukur (range) 0,25, kuat arus yang dapat diukur berkisar dari 0 – 0,25 mA. Untuk batas ukur (range) 25, kuat arus yang dapat diukur berkisar dari 0 – 25 mA. Untuk batas ukur (range) 500, kuat arus yang dapat diukur berkisar dari 0 – 500 mA.
- 2 **Batas Ukur (Range) Tegangan (ACV-DCV)** : terdiri dari angka; 10 – 50 – 250 – 500 – 1000 ACV/DCV. Batas ukur (range) 10, berarti tegangan maksimal yang dapat diukur adalah 10 Volt. Batas ukur (range) 50, berarti tegangan maksimal yang dapat diukur adalah 50 Volt, demikian seterusnya.
- 3 **Batas Ukur (Range) Ohm** : terdiri dari angka; x1, x10 dan kilo Ohm ($k\Omega$). Untuk batas ukur (range) x1, semua hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada papan skala (pada satuan Ω). Untuk batas ukur (range) x10, semua hasil pengukuran dibaca pada papan skala dan dikali dengan 10 (pada satuan Ω). Untuk batas ukur (range) kilo Ohm ($k\Omega$), semua hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada papan skala (pada satuan $k\Omega$),

Untuk batas ukur (range) $\times 10k$ ($10k\Omega$), semua hasil pengukuran dibaca pada papan skala dan dikali dengan $10k\Omega$.

1.5 Baterai Multimeter

Baterai : pada Multimeter dipakai baterai kering (dry cell) tipe UM-3, digunakan untuk mencatu/mengalirkan arus kekumparan putar pada saat Multimeter digunakan untuk mengukur komponen (minus komponen terintegrasi/Integrated Circuit/IC). Baterai dihubungkan secara seri dengan lubang kabel penyidik/probes (+/out) dimana kutub negatif baterai dihubungkan dengan terminal positif dari lubang kabel penyidik. Lihat Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Diagram Sirkuit Pemasangan Baterai didalam Multimeter

1.6 Kriteria Multimeter

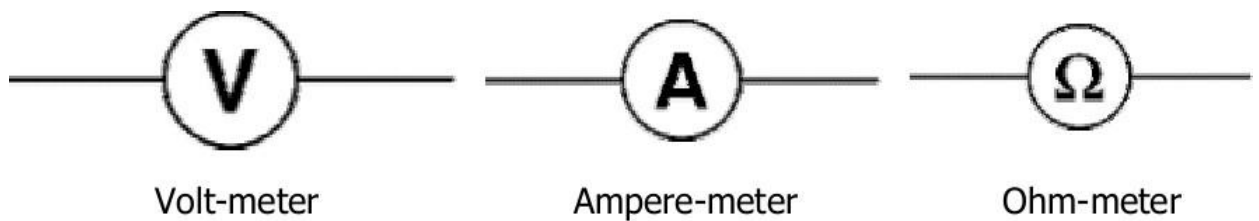
Kriteria sebuah Multimeter tergantung pada :

1. Kekhususan kepekaan, ditentukan oleh tahanan/resistan (resistance) dibagi dengan tegangan, misalnya $20 k\Omega/v$ untuk DCV dan $8 k\Omega/v$ untuk ACV. ($20 k\Omega/v$ sehingga dapat diungkapkan $I = E/R = 1/20.000 = \frac{1}{2} \times 10^{-4} A = 0,05mA = 50 \mu A$). Multimeter menggunakan arus sebesar 50 mikro-Ampere ($50 \mu A$) untuk alat pengukur (meter) dan akan menarik arus maksimal $50 \mu A$ dari rangkaian yang diukur.
2. Fungsi tambahannya sebagai penguji (tester) transistor untuk menentukan hfe transistor (kemampuan transistor menguatkan arus listrik searah

sampai beberapa kali), penguji dioda, dan kapasitas kapasitor dalam hubungannya dengan pekerjaan perbaikan (repair) alat-alat elektronik.

1.7 Simbol – Simbol Alat Ukur

Secara teoritis, untuk mempermudah pembelajaran, pengukur tegangan (Volt-meter), pengukur kuat arus (Ampere-meter), dan pengukur nilai tahanan /resistance (Ohm-meter) ditampilkan dengan simbol-simbol seperti yang terdapat pada Gambar 1.5.

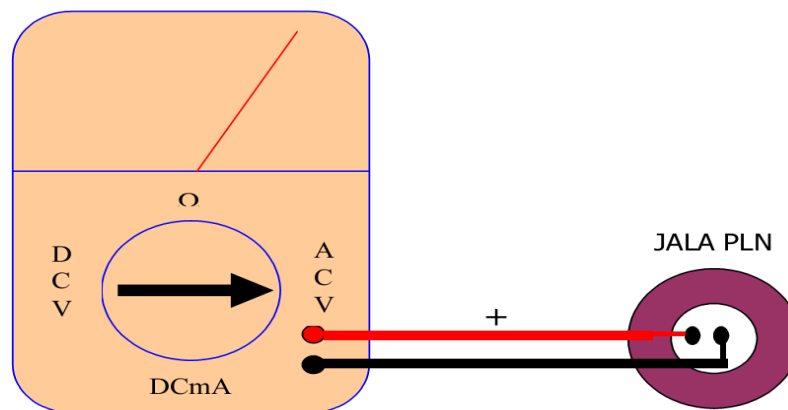


Gambar 1.5 Simbol Alat Ukur

1.8 Penggunaan Multimeter

Pada sub-bab ini berisi langkah-langkah praktek bagaimana memahami dan membuktikan kegunaan perangkat yang ada pada Multimeter beserta pemanfaatannya untuk mengukur besaran-besaran listrik. Jika Anda dapat melakukan langkah-langkah kerja dengan benar, itu berarti Anda sudah memiliki kemampuan menggunakan Multimeter dengan baik dan benar. Satu hal yang perlu diingat, utamakan keselamatan diri Anda dan keselamatan alat. Baca kembali persiapan awal yang ada pada modul ini. Konsultasikan dengan Pengajar yang belum Anda fahami.

1.8.1 Mengukur Tegangan Listrik Arus Bolak Balik (ACV)

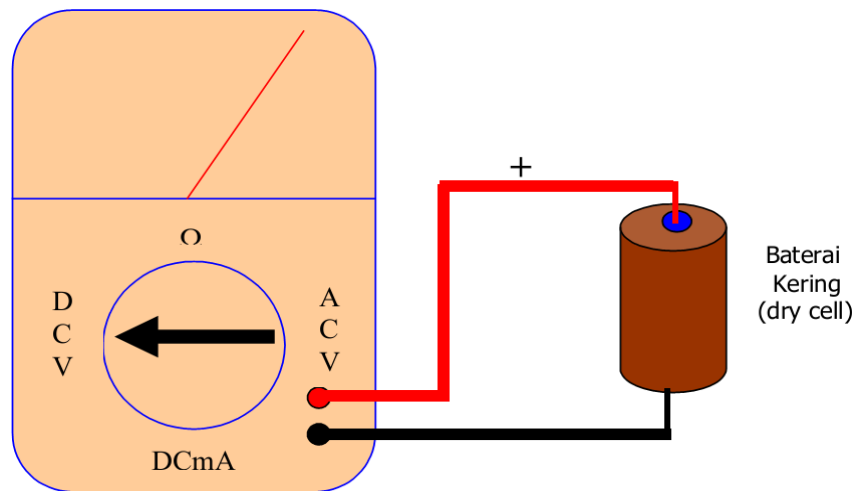


Gambar 1.6 Pengukuran ACV.

Pada Gambar 1.6, menunjukkan jika Anda akan mengukur 220 ACV, saklar jangkauan ukur harus berada pada posisi ACV, dan batas ukur (range) pada angka 250 ACV. Hal yang sama berlaku untuk pengukuran tegangan DC (DCV). Tak kalah penting untuk diperhatikan adalah factor keselamatan.

1.8.2 Mengukur Tegangan Listrik Arus Searah (DCV)

Gambar 1.7 menunjukkan cara mengukur DCV, posisi kabel penyidik (probes) warna merah (+/out) diletakkan pada titik positif (+) dari sumber tegangan yang akan diukur, kabel penyidik (probes) warna hitam (-/common) diletakkan pada titik negatif (-).



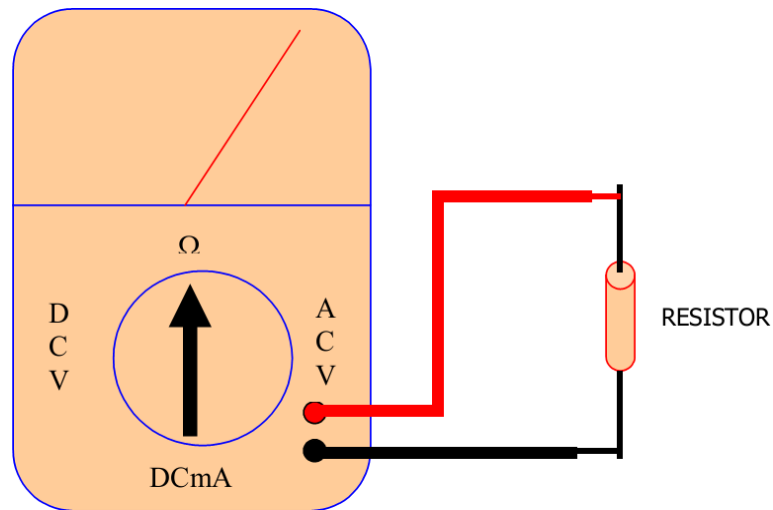
Gambar 1.7 Pengukuran DCV

1.8.3 Mengukur Tahanan (Resistance) R

Langkah-langkah pengukuran :

1. Perhatikan kembali gambar 1.8, Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10 atau $k\Omega$, tergantung dari nilai resistor yang akan diukur.
3. Mengacu pada gambar 1.8, letakkan secara sembarang (acak) kedua ujung kabel penyidik (probes) pada kaki komponen yang akan diukur.
4. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan menunjukkan nilai satuan Ohm yang sama (atau mendekati) dengan nilai satuan Ohm dari resistor berdasarkan pita warna, artinya : resistor masih baik dan dapat digunakan.

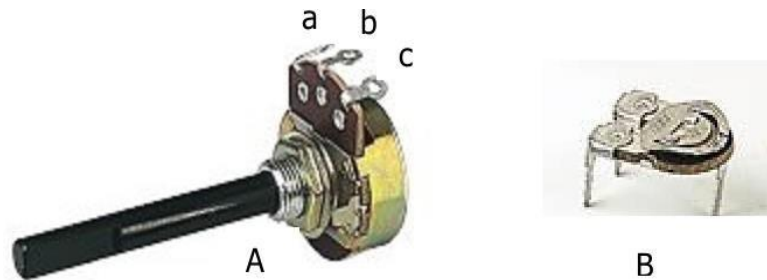
5. Bandingkan hasil pengukuran dengan nilai resistor berdasarkan pita warna yang ada di badan resistor tersebut yang akan dijelaskan pada bab 3.



Gambar 1.8 Pengukuran Tahanan/Resistance

1.8.4 Mengukur Variabel Resistor

Variabel resistor adalah resistor yang dapat berubah nilai satuan Ohm-nya dengan cara memutar-mutar tuas pemutar atau sekrup yang menggerakkan kontak geser/penyapu (wiper) yang terdapat di dalam resistor tersebut.

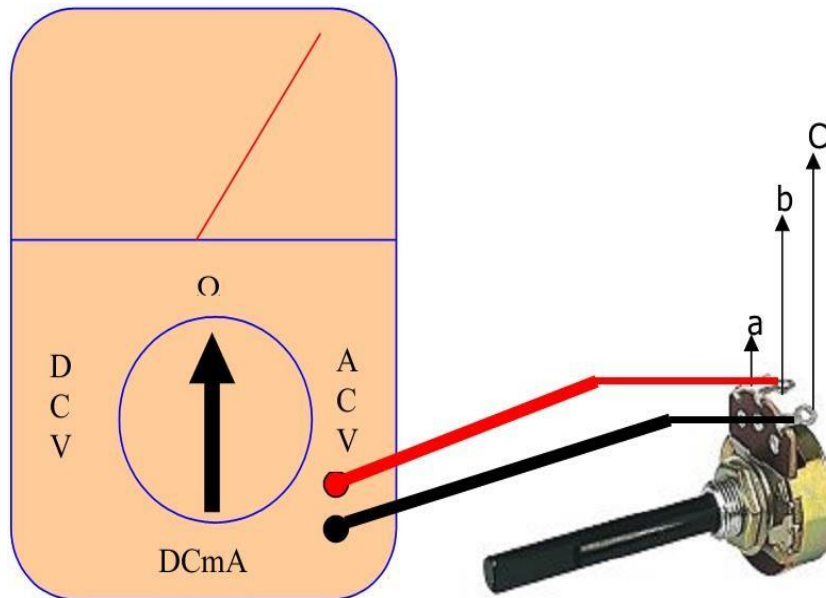


Gambar 1.9 Variabel Resistor (A) Potensio (B) Preset/Trimpot

Variabel resistor yang memiliki tuas pemutar biasanya disebut potensio meter (potentiometer) seperti yang ditunjukkan Gambar 1.9, dan yang memiliki sekrup pengatur disebut preset atau trimpot. Langkah-langkah pengukuran :

1. Atur jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau $k\Omega$, tergantung dari nilai variabel resistor yang akan diukur.

3. Mengacu pada gambar 1.10, letakkan kedua ujung kabel penyidik (probes) pada terminal a dan b dari variabel resistor.



Gambar 1.10 Pengukuran Variabel Resistor.

4. Putar tuas pemutar searah jarum jam (untuk preset gunakan obeng minus).
5. Jarum pada papan skala ikut bergerak ke kanan, artinya : variabel resistor masih baik dan dapat digunakan.
6. Letakkan kedua ujung kabel penyidik (probes) pada terminal b dan c dari variabel resistor.
7. Putar tuas pemutar searah jarum jam (untuk preset gunakan obeng minus).
8. Jarum pada papan skala ikut bergerak ke kiri, artinya : variabel resistor masih baik dan dapat digunakan.

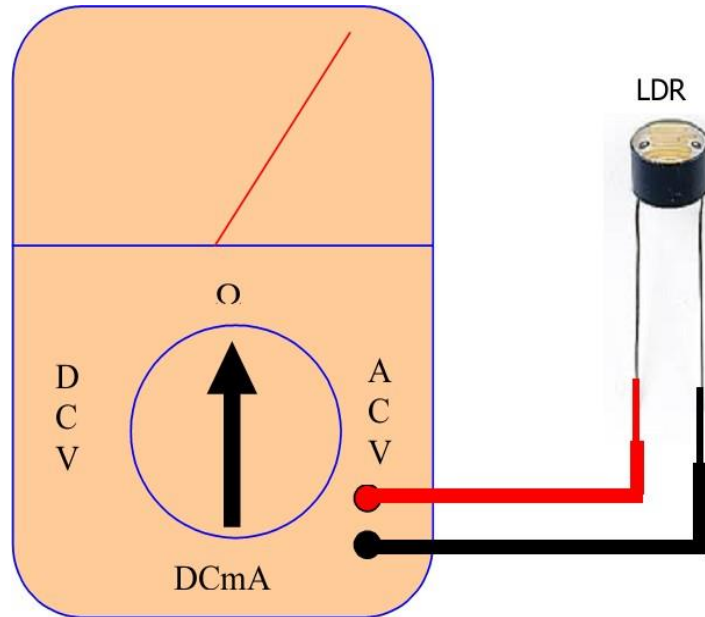
1.8.5 Mengukur Light Dependence Resistor (LDR)

Resistor Peka Cahaya/Light Dependence Resistor (LDR) adalah sebuah resistor yang berfungsi sebagai input transducer (sensor) dimana nilai satuan Ohm-nya dipengaruhi oleh cahaya yang jatuh di permukaan LDR tersebut. Mengukur nilai satuan Ohm dari LDR dengan menggunakan Multimeter. Saklar jangkauan ukur pada posisi Ω , batas ukur (range) berada pada posisi x1, x10 atau k Ω , sesuai kebutuhan. Sebagai acuan, ditempat gelap, nilai satuan Ohm dari LDR = 1M Ω (1

Mega Ohm = 1000.000Ω). Ditempat terang nilai satuan Ohm dari LDR = 100Ω .

Langkah-langkah pengukuran :

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau k Ω , sesuai kebutuhan.
3. Mengacu pada gambar 1.11, letakkan kedua ujung kabel penyidik (probes) secara sembarang (acak) pada kedua kaki LDR.



Gambar 1.11 Pengukuran LDR.

4. Menggunakan lampu senter (flashlight) sinari permukaan LDR, jarum bergerak ke kanan, menunjukkan nilai satuan Ohm yang kecil, artinya : LDR masih baik dan dapat digunakan.
5. Tutuplah permukaan LDR, jarum pada papan skala bergerak ke kiri, artinya: LDR masih dapat digunakan.

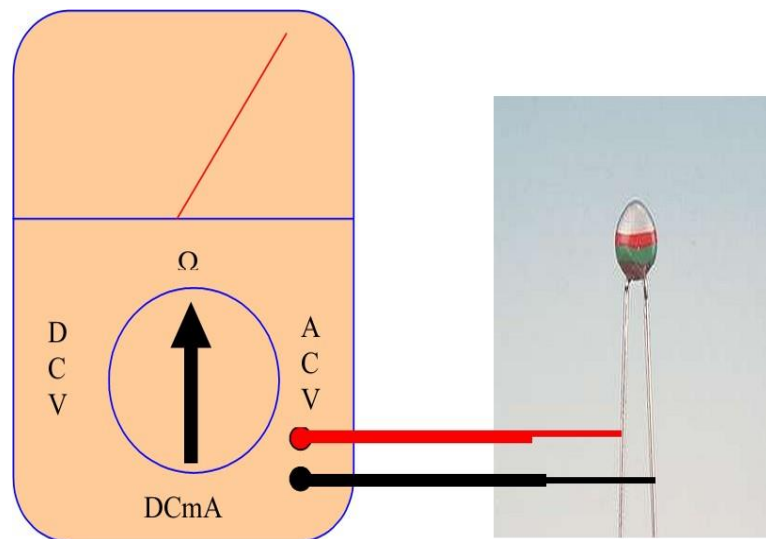
1.8.6 Mengukur Thermistor

Thermistor (Thermally sensitive resistor) adalah sebuah resistor yang dirancang khusus untuk peka terhadap suhu. Thermistor terbagi dalam dua jenis. Pertama, yang disebut dengan Negative Temperature Coefficient Resistor (NTCR), jika mendapat panas, nilai satuan Ohm-nya berkurang, Kedua, yang disebut dengan Positive Temperature Coefficient Resistor (PTCR). Jika mendapat panas, nilai satuan

Ohm-nya bertambah. Mengukur nilai satuan Ohm dari thermistor dengan menggunakan Multimeter.

Langkah-langkah pengukuran :

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau k Ω sesuai kebutuhan.
3. Mengacu pada Gambar 1.12, letakkan kedua ujung kabel penyidik (probes) secara sembarang (acak) pada kedua kaki thermistor (NTCR atau PTCR).



Gambar 1.12 Pengukuran Thermistor

4. Pada pengukuran NTCR; dengan korek api, panasi NTCR, jarum pada papan skala menunjukkan nilai satuan Ohm yang kecil, artinya: NTCR masih baik dan dapat digunakan.
5. Pada pengukuran PTCR; dengan korek api, panasi PTCR, jarum pada papan skala menunjukkan nilai satuan Ohm yang besar, artinya: PTCR masih baik dan dapat digunakan (baca kembali uraian tentang thermistor).

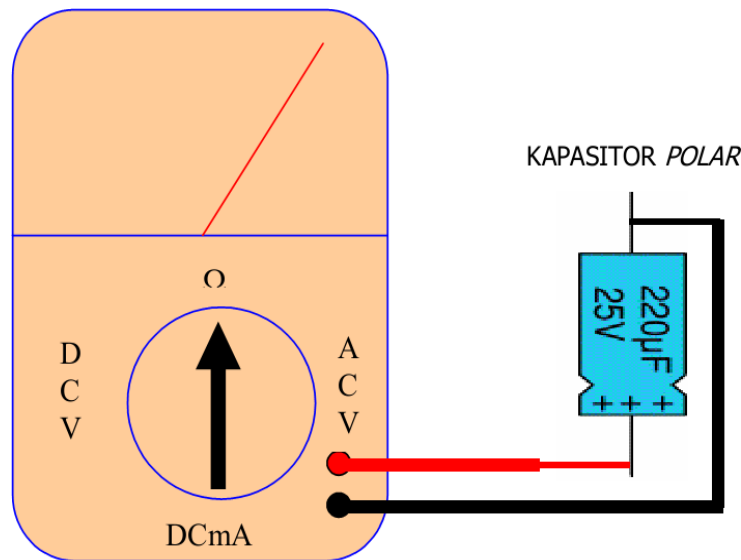
1.8.7 Mengukur Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronik yang dirancang untuk dapat menyimpan dan membuang Tegangan Arus Listrik Searah (Direct Current Voltage/DCV). Kapasitor terbagi dalam dua jenis. Pertama, kapasitor yang memiliki kutub positif (+) dan negatif (-). Dalam teknik elektronika disebut kapasitor

polar (polarised capacitor). Kedua, kapasitor yang tidak memiliki kutub positif (+) dan negatif (-). Disebut kapasitor non polar (unpolarised capacitor).

Langkah-langkah pengukuran kapasitor polar:

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.
3. Mengacu pada Gambar 1.13, letakkan kabel penyidik (probes) warna merah (+) pada kaki positif (+) kapasitor non polar (kaki positif biasanya berukuran lebih panjang ketimbang kaki negatif), kabel penyidik (probes) warna hitam (-) ke kaki negatif.



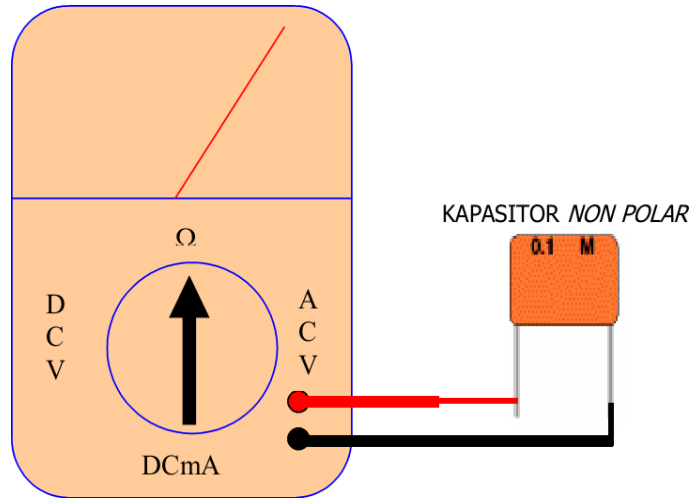
Gambar 1.13 Pengukuran Kapasitor Polar.

4. Jarum pada papan skala bergerak jauh ke kanan untuk kemudian kembali ke kiri, artinya : kapasitor polar masih baik dan dapat digunakan. (Jika jarum pada papan skala bergerak ke kanan dan tidak kembali lagi ke kiri, artinya: kapasitor polar rusak dan tidak dapat digunakan.

Langkah-langkah pengukuran kapasitor polar:

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.

3. Perhatikan kembali Gambar 1.14. letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) dan kabel penyidik (probes) warna hitam (-) secara sembarang (acak) ke kaki kapasitor non polar.



Gambar 1.14 Pengukuran Kapasitor Non Polar

4. Jarum pada papan skala tidak bergerak (atau bergerak sedikit), artinya: kapasitor non polar masih baik dan dapat digunakan. (Jika jarum pada papan skala bergerak jauh ke kanan, artinya: kapasitor non polar sudah rusak dan tidak dapat digunakan).

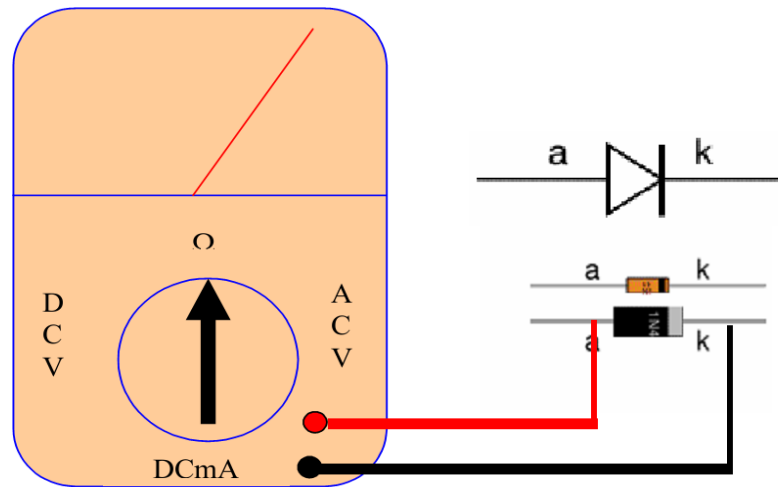
1.8.8 Pengukuran Dioda

Dioda adalah komponen elektronik yang memiliki dua elektroda yaitu; (1) Anoda (a), dan (2) Katoda (k). Mengikuti anak panah pada symbol dioda Gambar 1.15, arus listrik mengalir hanya satu arah yaitu dari Anoda ke Katoda.

Langkah-langkah pengukuran :

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi $\times 1, \times 10$, atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.
3. Mengacu pada Gambar 1.15, letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) pada kaki Anoda dari dioda, ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan pada kaki Katoda dari dioda.
4. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan, artinya: dioda masih baik dan dapat digunakan.

5. Perhatikan kembali Gambar 1.15, letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) pada kaki Katoda dari dioda, ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan pada kaki Anoda dari dioda.
6. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan, artinya: dioda rusak dan tidak dapat digunakan.



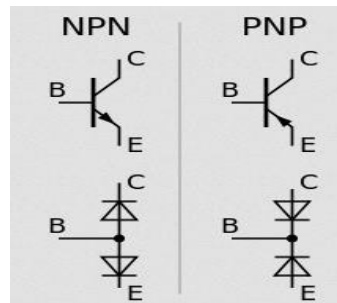
Gambar 1.15 Pengukuran Dioda

1.8.9 Pengukuran Transistor

Transistor adalah komponen elektronik yang dirancang sebagai penguat arus. Tipe ditunjukkan Gambar 1.16, yaitu tipe PNP (Positip-Negatip-Positip) dan tipe NPN (Negatip-Positip-Negatip). Kaki transistor dinyatakan dengan: Basis (Base), Kolektor (Collector), dan Emitor (Emitter).



(a)



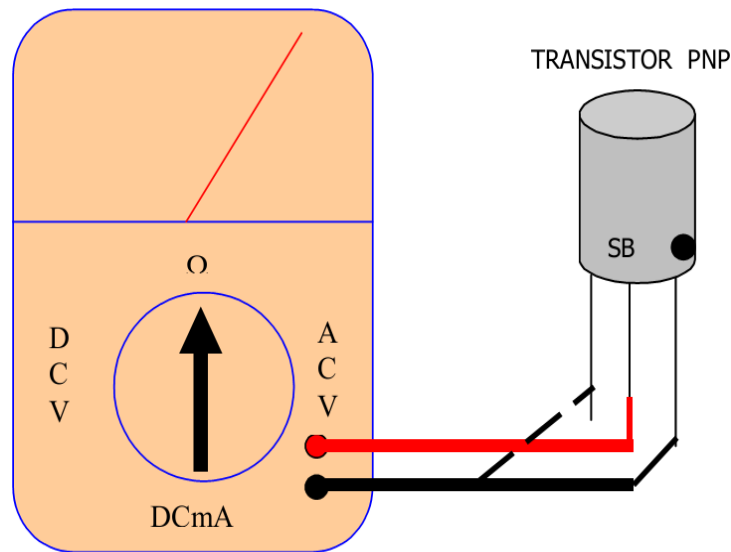
(b)

Gambar 1.16 (a) Transistor **(b)** Simbol Elektris dan Model Sistem Transistor NPN dan PNP

Transistor pada dasarnya adalah dua buah dioda yang disambung secara berbalikan. Dioda yang pertama dibentuk oleh Emitor-Basis, dioda yang kedua dibentuk oleh Basis-Kolektor.

Langkah-langkah pengukuran :

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1,x10,atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.
3. Untuk transistor tipe PNP: mengikuti Gambar 1.17, letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) pada kaki Basis, ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan pada kaki Emitor.



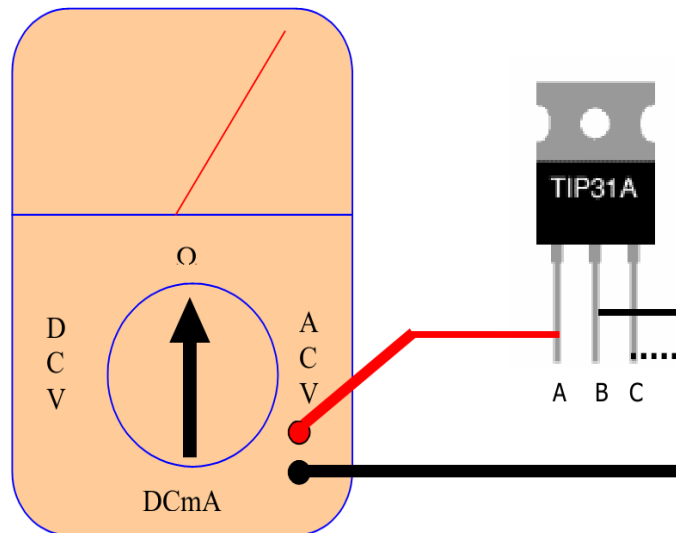
Gambar 1.17 Pengukuran Transistor

4. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan menunjuk angka (misalnya 16,5 Ω), artinya: Dioda Basis-Emitor masih baik, transistor masih dapat digunakan.
5. Letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) pada kaki Basis, ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan pada kaki Kolektor.
6. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan, menunjuk angka (misalnya 16,5 Ω), artinya: Dioda Basis-Kolektor masih baik, transistor masih dapat digunakan.

7. Untuk transistor tipe NPN: mengikuti Gambar 1.17, letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) pada kaki Basis, ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) diletakkan pada kaki Emitter.
8. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan menunjuk angka (misalnya 21Ω), artinya: Dioda Emitter-Basis masih baik, transistor masih dapat digunakan.
9. Letakkan ujung kabel penyidik (probes) warna hitam (-) pada kaki Basis, ujung kabel penyidik (probes) warna merah (+) diletakkan pada kaki Kolektor.
10. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan menunjuk angka (misalnya 20Ω), artinya: Dioda Kolektor-Basis masih baik, transistor masih dapat digunakan.

1.8.10 Menetapkan Kaki Emitter-Basis-Kolektor Transistor dengan Multimeter.

Dalam situasi tertentu, Anda mungkin kesulitan menetapkan kaki-kaki dari transistor, (yang mana kaki Emitter, kaki Basis, dan kaki Kolektor). Dengan menggunakan Multimeter, kesulitan ini dapat diatasi yang ditunjukkan Gambar 1.18, caranya adalah sebagai berikut :



Gambar 1.18 Menetapkan Kaki Transistor.

Langkah Penentuan Kaki Transistor PNP:

1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1,x10,atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.
3. Kabel penyidik (probes) warna merah (+) diletakkan pada titik A dari kaki transistor.
4. Kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan secara bergantian di titik B dan C, jarum pada papan skala menunjukkan nilai tahanan (resistance) yang **hampir sama**, berarti kaki transistor pada titik A = kaki **Basis**.

Tetapkan kaki **Emitor**, dengan cara :

- a. Saklar jangkauan ukur pada posisi Ω dan batas ukur (range) pada posisi x10k Ω
- b. Letakkan kabel penyidik (probes) warna merah (+) **di titik C**, kabel penyidik (probes) warna hitam (-) **di kaki Basis** (yang telah diketahui),catatlah nilai tahanan (resistance) yang ditunjukkan oleh jarum
- c. Letakkan kabel penyidik (probes) warna merah (+) **di titik B**, kabel penyidik (probes) warna hitam (-) **di kaki Basis** (yang telah diketahui),catatlah nilai tahanan (resistance) yang ditunjukkan oleh jarum.
- d. Jika nilai tahanan (resistance) dari hasil pengukuran pada butir b, **LEBIH KECIL** dibanding dengan nilai resistansi dari hasil pengukuran pada butir c, kaki transistor pada titik C adalah kaki Emitor, dengan sendirinya kaki transistor pada titik B adalah kaki Kolektor.

Langkah Penentuan Kaki Transistor NPN:

1. Masih mengacu pada Gambar 1.18, atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1,x10,atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan, tapi terjadi pergantian.

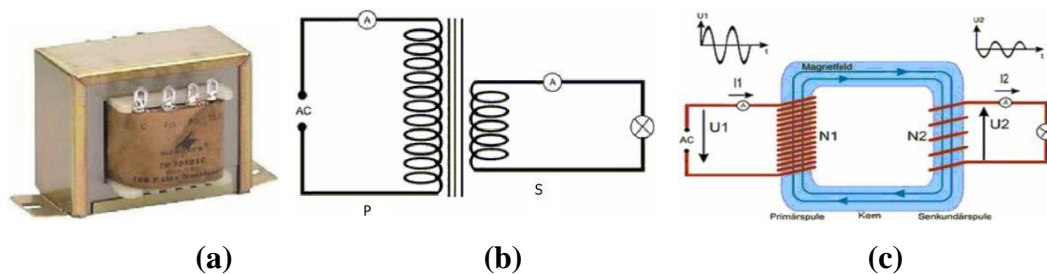
3. Kabel penyidik (probes) warna hitam (-) diletakkan pada titik A dari kaki transistor.
4. Kabel penyidik (probes) warna merah (+) diletakkan secara bergantian di titik B dan C, jarum pada papan skala menunjukkan nilai tahanan yang **hampir sama**, berarti kaki transistor pada titik A = kaki Basis.

Tetapkan kaki **Emitter**, dengan cara :

- a. Saklar jangkauan ukur pada posisi Ω dan batas ukur (range) pada posisi $\times 10 \text{ k}\Omega$
- b. Letakkan kabel penyidik (probes) warna hitam (-) **di titik C**, kabel penyidik (probes) warna merah (+) **di kaki Basis** (yang telah diketahui), catatlah nilai tahanan (resistance) yang ditunjukkan oleh jarum.
- c. Letakkan kabel penyidik (probes) warna hitam (-) **di titik B**, kabel penyidik (probes) warna merah (+) **di kaki Basis** (yang telah diketahui), catatlah nilai tahanan (resistance) yang ditunjukkan oleh jarum.
- d. Jika nilai tahanan (resistance) dari hasil pengukuran pada butir b, **LEBIH KECIL** dibanding dengan nilai tahanan (resistance) dari hasil pengukuran pada butir c, kaki transistor pada titik C adalah kaki Emitter, dengan sendirinya kaki transistor pada titik B adalah kaki Kolektor.

1.8.11 Pengukuran Transformator

Transformator adalah komponen elektronik yang dirancang untuk dapat memindahkan Tegangan Arus Listrik Bolak Balik/Alternating Current Voltage (ACV) dari gulungan primer (P) ke gulungan skunder (S) tanpa ada hubungan langsung antara kedua gulungan tersebut, yang ditunjukkan pada Gambar 1.19.

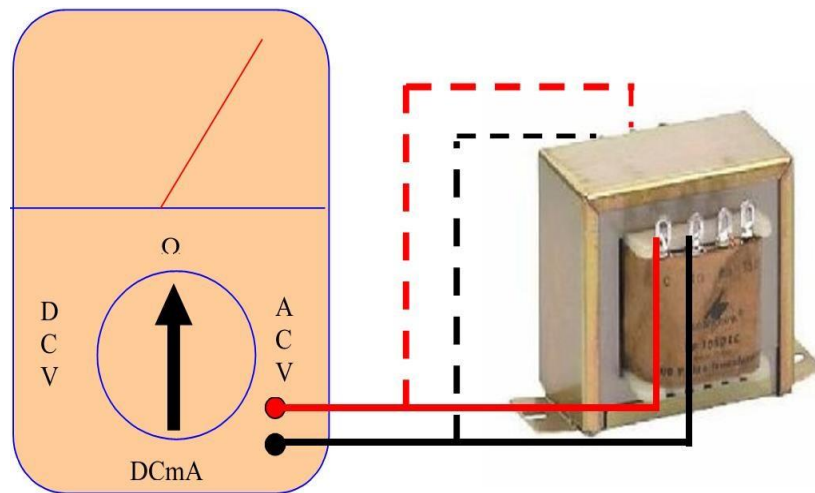


Gambar 1.19 (a) Bentuk Real Transformator (b) Lambang Elektris Transformator
(c) Model Sistem Transformator

Sebuah transformator masih baik dan dapat digunakan, atau sudah rusak dapat dibuktikan dengan cara mengukurnya dengan Multimeter. Hal yang perlu diingat ketika menggunakan Multimeter untuk mengukur transformator adalah :

Langkah-langkah pengukuran :

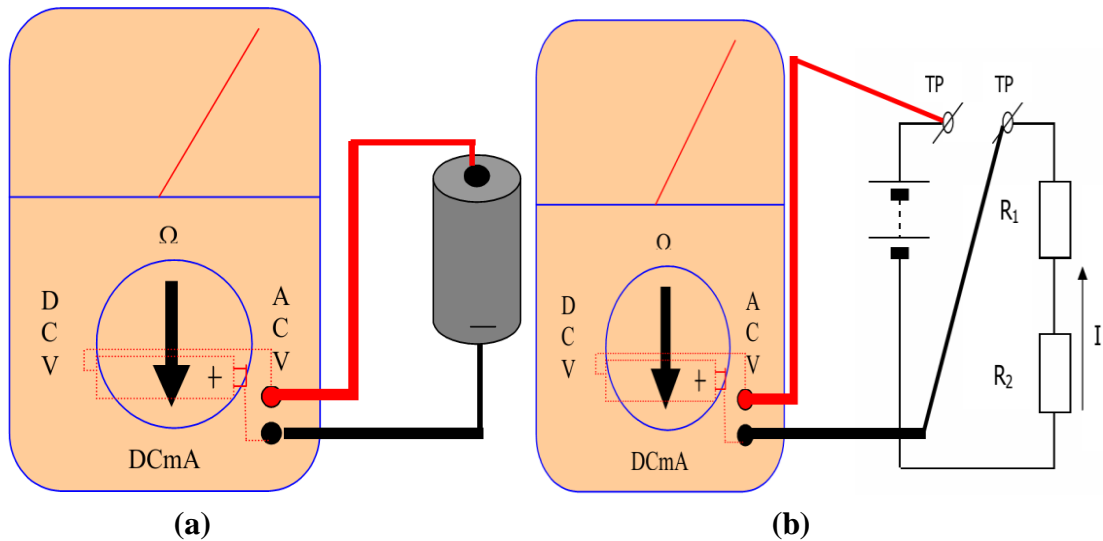
1. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω .
2. Batas ukur (range) pada posisi x1, x10, atau $k\Omega$ sesuai kebutuhan.
3. Mengacu pada Gambar 1.20, letakkan ujung kabel penyidik (probes) secara sembarang (acak) ke titik-titik terminal dari gulungan primer (P).
4. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan, artinya: gulungan primer (P) transformator masih baik dan dapat digunakan.



Gambar 1.20 Pengukuran Tranformator

5. Letakkan ujung kabel penyidik (probes) secara sembarang (acak) ke titik-titik terminal dari gulungan skunder (S).
6. Jarum pada papan skala bergerak ke kanan, artinya: gulungan skunder (S) transformator masih baik dan dapat digunakan.
7. Letakkan ujung kabel penyidik (probes) secara sembarang (acak) ke titik terminal dari gulungan primer (P) dan gulungan titik terminal gulungan sekunder (S).
8. Jarum pada papan skala tidak bergerak, artinya: isolator yang mengisolasi gulungan primer (P) dari gulungan skunder (S) masih berfungsi, transformator masih baik dan dapat digunakan.

1.8.12 Multimeter Sebagai Amperemeter



Gambar 1.21 (a) Baterai Didalam Multimeter Terhubung Seri dengan Baterai yang Diukur (b) Pada Titik Tertentu Rangkaian Diputus Kemudian Arusnya Diukur

Gambar 1.21 (a) dan (b) menunjukkan cara penggunaan multimeter sebagai Amperemeter. Hasil pengukuran kuat arus ada dua cara, yaitu menggunakan rumus dan dibaca secara langsung. Yang pertama menggunakan rumus:

$$\text{Kuat Arus (I)} = \text{Penunjuk Jarum} \times \frac{\text{Batas Ukur}}{\text{Skala}}$$

Cara pertama yaitu menggunakan rumus, misalkan batas ukur (range) diletakkan pada posisi angka 25, skala yang digunakan adalah penunjukan skala penuh (0-250). Jarum menunjuk angka 175, kuat arus yang mengalir adalah : $I = 175 \times 25/250 = 17,5 \text{ mA}$.

Cara yang kedua yaitu dibaca secara langsung seperti.

1. Misalkan batas ukur (range) 0,25, hasil pengukuran dibaca pada skala 0-250. Jarum pada papan skala menunjuk angka 250, hasil pengukuran = 0,25 mA. Jarum pada papan skala menunjuk angka 200, hasil pengukuran = 0,20 mA dan seterusnya.
2. Untuk batas ukur (range) 25, hasil pengukuran dibaca pada skala 0-250. Jarum pada papan skala menunjuk angka 250, hasil pengukuran = 25 mA. Jarum pada papan skala menunjuk angka 200, hasil pengukuran = 20 mA dan seterusnya.

Rangkuman 1

- 1) Multimeter adalah piranti ukur yang dapat digunakan untuk mengukur besaran listrik, yaitu ; (1) tegangan, (2) arus, dan (3) tahanan (resistance). Masing – masing dalam satuan Volt (V), Ampere (A), Ohm (Ω).
- 2) Saklar jangkauan Multimeter harus berada pada posisi yang sesuai dengan besaran listrik yang akan diukur.
- 3) Batas ukur (range) Multimeter harus berada pada posisi angka yang lebih besar dari nilai besaran listrik yang akan diukur.
- 4) Sebelum melakukan pengukuran, posisi jarum harus berada tepat pada sisi kiri papan skala.
- 5) Sekrup pengatur posisi jarum (preset) digunakan mengatur posisi jarum pada angka nol.
- 6) Tombol pengatur jarum pada posisi angka nol (zero adjustment) digunakan untuk meletakkan jarum pada posisi angka nol sebelum Multimeter digunakan untuk pengukuran nilai tahanan/resistans (resistance). Untuk keperluan ini, ujung dari kedua kabel penyidik disatukan, tombol diputar-putar untuk memperoleh posisi jarum pada angka nol.
- 7) Pada Multimeter Analog, hasil pengukuran dibaca pada papan skala, dan Multimeter Digital, hasil pengukuran ditunjukkan langsung oleh angka yang muncul pada layar display.
- 8) Hasil pengukuran tegangan listrik (ACV-DCV) dibaca pada bagian papan skala yang bertuliskan ACV-DCV. Hasil pengukuran arus listrik (DCmA) dibaca pada bagian papan skala yang bertuliskan DCV, A. Hasil pengukuran tahanan/resistan (resistance) dibaca pada bagian papan skala yang bertuliskan Ω - k Ω .
- 9) Kriteria Multimeter ditentukan seberapa besar arus yang digunakan untuk menggerakkan alat pengukur (meter). Besarnya kuat arus yang digunakan dapat dihitung dari k Ω /Volt yang tertera pada sisi kiri bawah papan skala.
- 10) Menurut jenisnya tegangan listrik terbagi dua; (1) Tegangan Listrik Arus Searah/Direct Current Voltage (DCV), dan (2) Tegangan Listrik Arus Bolak Balik/Alternating Current Voltage (ACV).

- 11) Dalam mengukur DCV, posisi kabel penyidik (probes) warna merah diletakkan pada titik positif (+) dari sumber tegangan yang akan diukur, kabel penyidik (probes) warna hitam diletakkan pada titik negatif (-).
- 12) Dalam mengukur ACV, kutub positif dan negatifnya berganti-ganti, karena itu peletakan kabel penyidik (probes) boleh bolak balik/acak.
- 13) Melalui pengukuran nilai tahanan/resistans (resistance) yang ada pada komponen (di luar rangkaian) kita dapat mengetahui apakah sebuah komponen masih dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan, atau sudah rusak.
- 14) Pada komponen elektronika yang terbuat dari bahan penghantar/konduktor, dan setengah penghantar/semikonduktor, (silikon dan germanium) seperti; transistor, dioda, dan resistor terdapat tahanan (resistance).
- 15) Aliran arus yang menggerakkan kumparan putar yang terdapat pada Multimeter tergantung pada karakteristik komponen yang diukur. Jika komponen tersebut bersifat menyimpan dan membuang arus (seperti kapasitor), jarum pada papan skala akan bergerak ke arah kanan papan skala untuk kemudian segera kembali lagi ke kiri, atau tidak bergerak sama sekali (tergantung kapasitas dari kapasitor).
- 16) Pada komponen yang memiliki polaritas positif dan negatif, peletakan kabel penyidik (probes) harus memperhatikan polaritas tersebut. Contoh Baterai, Kapasitor Polar dan Dioda.
- 18) Langkah-langkah awal pada pengukuran :
 - a. Masukkan kabel penyidik (probes) warna merah ke lubang kabel penyidik yang bertanda (+), kabel penyidik (probes) warna hitam ke lubang kabel penyidik yang bertanda (-).
 - b. Jika diperlukan, atur sekrup posisi jarum (preset), sehingga posisi jarum pada papan skala berada pada posisi angka nol.
 - c. Atur saklar jangkauan ukur pada posisi Ω , dan tetapkan batas ukur (range) pada posisi Ω , atau $k\Omega$ tergantung dari komponen yang akan diukur.
 - e. Ujung dari kedua kabel penyidik (probes) dipertemukan, menggunakan tombol pengatur posisi jarum pada angka nol (zero adjustment), atur posisi jarum pada papan skala hingga menunjukkan angka nol.

Diskusi Group 1

1. Buatlah kelompok belajar, masing-masing kelompok maksimum 4 orang.
2. Kumpulkan baterai kering (dry cell) bekas sebanyak 2 buah dengan merk yang berbeda, catatlah kira-kira berapa lama baterai telah digunakan.
3. Ukurlah tegangan baterai yang lama dan yang baru, catat hasilnya pada tabel berikut.

Tabel 1.1 Pengukuran Pengosongan Baterai Dengan Multimeter

No	Merk Baterai Lama	Pengukuran Tegangan Awal (Volt)	Pengukuran Tegangan Jatuh (Volt)				Keterangan
			2 jam	4 jam	6 jam	8 jam	
1							
2							

Diskusi Group 2

1. Buatlah kelompok kerja, satu kelompok minimal 4 (empat) orang, maksimal 6 (enam) orang.
2. Pergilah ke pasar barang bekas (pasar loak) di kota Anda (jika ada), dan/atau ke lingkungan Anda, carilah penguat audio bekas, atau radio bekas.
3. Dengan menggunakan alat pencabut komponen (desoldering), lepaskan komponen yang terpasang pada Papan Rangkaian Tercetak (PRT)/Printed Circuit Board (PCB).
4. Ukurlah komponen-komponen tersebut dengan Multimeter, hasil pengukuran diisi ke dalam format berikut ini.

Tabel 1.2 Pengukuran Analisa Trouble Shoting Komponen

No	Nama Komponen	Merk/Type	Posisi Saklar Jangkauan Ukur	Posisi Batas Ukur (Range)	Hasil Pengukuran	Keterangan
	Contoh Resistor	2 k Ω , 1/4 Watt	Ω	k Ω	Sudah Rusak	Hasil Pengukuran Berbeda Jauh Dengan Nilai Resistor Berdasarkan Pita

						warna
1	Resistor					
2	Potensiometer					
3	Dioda					
No	Nama Komponen	Merk/Type	Posisi Saklar Jangkauan Ukur	Posisi Batas Ukur (Range)	Hasil Pengukuran	Keterangan
4	Transformator					
5	LDR					
6	Thermistor	NTCR				
		PTCR				
7	Kapasitor	Polar				
		Non Polar				
8	Transistor	NPN				
		PNP				

Latihan 1

1. Multimeter adalah piranti ukur yang dapat digunakan untuk mengukur ?
2. Saklar jangkauan ukur pada posisi DCV, kedua ujung kabel penyidik (probes) dipertemukan, jarum penunjuk papan skala tidak bergerak, kenapa ?
3. Buktikan bahwa baterai tipe UM-3 yang di bagian dalam Multimeter disambung secara seri dengan lubang kabel penyidik (probes) ?
4. Bagaimana seharusnya posisi saklar jangkauan ukur dan batas ukur (range) jika kita ingin mengukur besaran listrik ?
5. Apa yang terjadi jika batas ukur (range) yang digunakan tidak sesuai dengan besaran listrik yang akan diukur ?
6. Buktikan bahwa tombol pengatur jarum pada posisi angka nol (zero adjustment) sangat penting dalam ketepatan pembacaan hasil pengukuran nilai tahanan (resistance)
7. Sebuah kapasitor polar dikatakan baik dan masih dapat digunakan jika jarum penunjuk skala menunjuk ke kanan dan kemudian kembali lagi ke kiri, kenapa?

8. Pengertian DCV, A adalah?
9. Bagaimana posisi Multimeter (yang berfungsi sebagai Ampere-meter) dalam mengukur kuat arus.
10. Anda ditugaskan mengukur ACV 9 Volt yang dihasilkan oleh gulungan skunder dari sebuah transformator penyesuai tegangan (transformator adaptor). Uraikan langkah-langkah pengukuran yang Anda lakukan.

MODUL 2

Petunjuk Penggunaan

Pada modul 2 ini terdiri dari satu bab yang membahas tentang penggunaan alat ukur elektronika dan menampilkan konfigurasi alat ukur elektronik yaitu Oscilloscope dan Function Generator sekaligus menjelaskan dan membuktikan kegunaan tiap-tiap perangkat/panel atau kontrol indikator yang ada pada alat-alat ukur tersebut, berikut cara-cara penggunaannya berdasarkan standar prosedur operasi yang terkait dengan keselamatan kerja.

Baca dan pelajari dengan teliti isi Modul 2 ini. Ambillah alat dan bahan yang diperlukan. Berpedoman pada modul, telitilah dengan cermat tiap-tiap perangkat dari alat ukur elektronik berikut kegunaannya. Perhatikan keselamatan kerja. Jangan segan-segan bertanya dan berdiskusi. Terakhir, kerjakan soal-soal yang disediakan di akhir bab untuk mengetahui tingkat pemahaman dan ketuntasan Anda dalam mempelajari Modul 2 ini.

Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari Modul 2 ini diharapkan Anda dapat melakukan percobaan:

1. Menggunakan Oscilloscope untuk mengamati bentuk gelombang, mengukur tegangan DC, AC, menghitung frekuensi sinyal, dan pergeseran fasa.
2. Menggunakan Function Generator untuk mengobservasi bentuk sinyal gelombang listrik.
3. Menggunakan software proteus sebagai pelengkap media simulasi penggunaan Oscilloscope dan Function Generator.

Indikator Pembelajaran

1. Membuktikan kegunaan tiap-tiap tombol pada kontrol indikator Oscilloscope.
2. Mampu mengidentifikasi jenis Oscilloscope berdasarkan prinsip kerjanya.

3. Mampu melakukan persiapan awal sebelum menggunakan alat ukur oscilloscope
4. Mampu menggunakan Oscilloscope sebagai: Frekuensimeter, mengukur frekuensi. Alat ukur tegangan, mengukur tegangan listrik bolak balik, maupun tegangan listrik searah.
5. Alat untuk mengobservasi bentuk gelombang dari input luar (TV, Video Player, Amplifier, dan perangkat elektronik lainnya). Alat untuk menghitung perbedaan fasa dari beberapa gelombang listrik. Alat ukur untuk mengukur Amplitudo Modulasi, melihat bentuk gelombang, mengukur frekuensi yang tidak diketahui.
6. Memahami dengan baik fungsi masing-masing kontrol dan indikator dari Function Generator.
7. Memahami kegunaan Function Generator dengan baik.
8. Menggunakan Function Generator untuk menghasilkan keluaran (output) dalam bentuk ayunan gelombang (sweep generator output).
9. Menggunakan Function Generator sebagai alat yang dapat menghasilkan frekuensi yang dibutuhkan sebagai pembanding dari frekuensi luar yang akan diukur.
10. Dalam konteks ini Function Generator dapat diatur untuk membangkitkan gelombang dengan frekuensi tertentu, ayunan gelombang sesuai kebutuhan, dan penghasil frekuensi.
11. Penggunaan Function Generator sebagai, Function Generator Output, Sweep Generator Output, Frequency Counter.

BAB II

OSCILLOSCOPE DAN FUNCTION GENERATOR

2.1 Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang dari tegangan, sinyal tegangan ini berupa dalam bentuk sinus maupun bukan sinus. Dengan Oscilloscope dapat dilihat bentuk gelombang sinyal audio dan video, bentuk gelombang tegangan AC, maupun tegangan DC yang berasal dari catu daya/baterai.

Secara prinsip kerjanya ada dua tipe osiloskop, yakni tipe analog (ART - analog real time oscilloscope) dan tipe digital (DSO-digital storage oscilloscope). Osiloskop analog menggunakan tegangan yang diukur untuk menggerakkan berkas electron dalam tabung sesuai bentuk gambar yang diukur. Pada layar osiloskop langsung ditampilkan bentuk gelombang tersebut. Osiloskop tipe waktu nyata analog (ART) menggambar bentuk-bentuk gelombang listrik dengan melalui gerakan pancaran elektron (electron beam) dalam sebuah tabung sinar katoda (CRT -cathode ray tube).

Osiloskop digital mencuplik bentuk gelombang yang diukur dan dengan menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) untuk mengubah besaran tegangan yang dicuplik menjadi besardigital. Dalam osiloskop digital, gelombang yang akan ditampilkan lebih dulu disampling (dicuplik) dan didigitalisasikan. Osilosko kemudian menyimpan nilai-nilai tegangan ini bersama sama dengan skala waktu gelombangnya di memori. Pada prinsipnya, osiloskop digital hanya mencuplik dan menyimpan demikian banyak nilai dan kemudian berhenti. Ia mengulang proses ini lagi dan lagi sampai dihentikan. Gambar 2.1 memperlihatkan salah satu jenis bentuk Oscilloscope yang dimaksud.

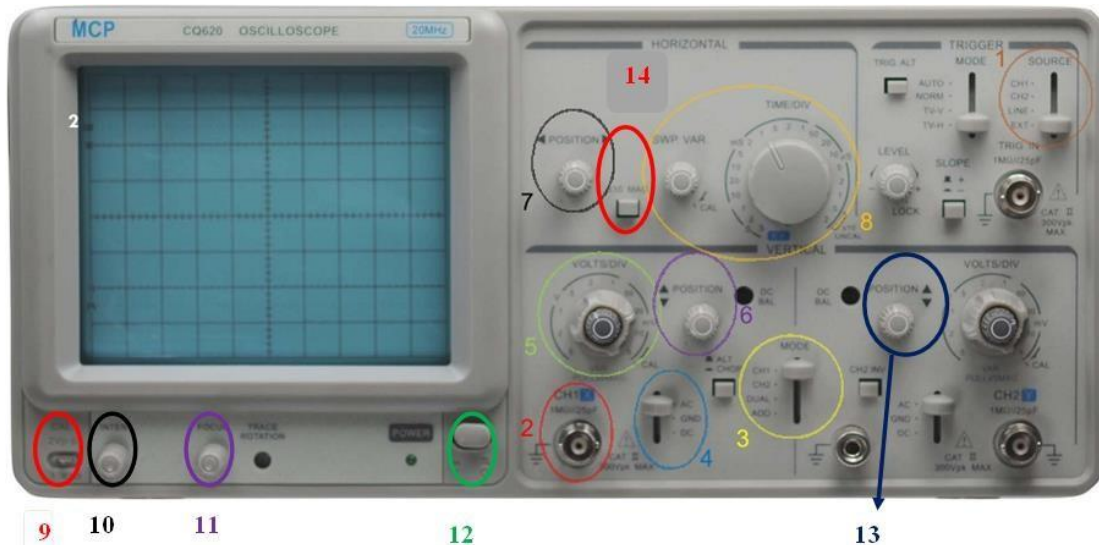
2.2 Kontrol Indikator Oscilloscope

Perhatikan Gambar 2.1 adalah tampilan depan dari Oscilloscope. Terdapat kontrol dan indikator (petunjuk) yang diberi nomor dengan kegunaan masing-masing sebagai berikut.

A. Lingkaran 1 menyatakan sumber signal.

1. Switch pada posisi CH1 artinya sumber signal berasal dari Channel 1.

2. Switch pada posisi CH2 artinya sumber signal berasal dari Channel 2.
3. Switch pada posisi LINE artinya sumber signal berasal dari Line
4. Switch pada posisi EXT artinya sumber signal berasal sumber external di luar osiloskop.



Gambar 2.1 Tampilan Depan Oscilloscope

B. Lingkaran 2 menyatakan input Channel 1.

Osiloskop tersebut mempunyai 2 Channel input, yaitu Channel 1 dan Channel 2.

C. Lingkaran 3 menyatakan Channel mana yang ditampilkan pada layar.

1. Switch pada posisi CH1 artinya layar akan menampilkan grafik dari Channel1.
2. Switch pada posisi CH2 artinya layar akan menampilkan grafik dari Channel2.
3. Switch pada posisi DUAL artinya layar akan menampilkan grafik dari Channel 1 dan Channel 2 secara bersamaan.
4. Switch pada posisi ADD artinya layar akan menampilkan grafik dari Channel 1 di superposisi dengan Channel 2. (Channel 1 dan Channel 2 dijumlahkan).

D. Lingkaran 4 menyatakan jenis signal input.

1. Switch pada posisi AC artinya signal input berupa signal AC.
2. Switch pada posisi GND artinya signal input berupa signal ground.
3. Switch pada posisi DC artinya signal input berupa signal DC.

E. Lingkaran 5 menyatakan Volts/Div (besarnya Volts per kotak pada layar osiloskop).

1. Tombol Volts/Div diputar ke kanan artinya semakin besar Volts per kotak sehingga tampilan signal semakin kecil.
2. Tombol Volts/Div diputar ke kiri artinya semakin kecil Volts per kotak sehingga tampilan signal semakin besar.
3. Perhatikan ada tombol kecil di tengah tombol besar yang berfungsi sama tetapi dengan skala yang lebih kecil (fine-tuning).

F. Lingkaran 6 menyatakan Vertical Position (posisi secara vertikal).

1. Apabila tombol Vertical Position diputar ke kanan maka tampilan signal bergerak ke atas.
2. Apabila tombol Vertical Position diputar ke kiri maka tampilan signal bergerak ke bawah.
3. Tombol Vertical Position harus diatur sedemikian rupa sehingga posisi signal berada tepat di tengah layar.

G. Lingkaran 7 menyatakan Horizontal Position (posisi secara horizontal).

1. Apabila tombol Horizontal Position diputar ke kanan maka tampilan signal bergerak ke kanan.
2. Apabila tombol Horizontal Position diputar ke kiri maka tampilan signal bergerak ke kiri.
3. Tombol Horizontal Position harus diatur sedemikian rupa sehingga posisi signal berada tepat di tengah layar.

H. Lingkaran 8 menyatakan Time/Div (waktu per kotak pada layar osiloskop).

1. Time/Div merupakan kebalikan dari frekuensi.
2. Satuan Time/Div adalah second atau milisecond (ms).
3. Satuan frekuensi adalah Hz atau 1/second.

Contoh:

$$\text{Time/div} = 1 \text{ ms} = 0,001 \text{ second}$$

$$\text{Frekuensi} = 1/0,001 \text{ Hz} = 1.000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

4. Tombol Time/Div diatur sesuai dengan frekuensi signal input.

I. Lingkaran 9 CAL (untuk kalibrasi tegangan pada 0,5 V p-p (peak to peak) atau tegangan dari puncak ke puncak)

J. Lingkaran 10 INTENSITY (pengatur kecerahan tampilan bentuk gelombang agar mudah dilihat)

K. Lingkaran 11 FOCUS (digunakan untuk menghasilkan tampilan bentuk gelombang yang optimal)

L. Lingkaran 12 POWER ON-OFF

M. Lingkaran 13 menyatakan Vertikal Position (posisi secara vertikal)

1. Apabila tombol Vertikal Position diputar ke kanan maka tampilan signal bergerak ke atas.
2. Apabila tombol Vertikal Position diputar ke kiri maka tampilan signal bergerak ke bawah.
3. Tombol Horizontal Position harus diatur sedemikian rupa sehingga posisi signal berada tepat di tengah layar.

N. Lingkaran 14 PULL 10X MAG untuk memperoleh posisi normal

2.3 Pengoperasian Awal Oscilloscope

Langkah-langkah awal dalam pengoperasian Oscilloscope sebagai alat ukur adalah sebagai berikut:

1. Tombol ON-OFF pada posisi OFF (Lingkaran 12).
2. Posisikan semua tombol yang memiliki tiga posisi pada posisi tengah yaitu GND(Lingkaran 4).
3. Putar tombol INTENSITY pada posisi tengah. (Lingkaran 10).
4. Dorong tombol PULL 10X MAG ke dalam untuk memperoleh posisi normal. (Lingkaran 14).
5. Dorong tombol TRIGGERING LEVEL pada posisi AUTO. (Lingkaran 1).
6. Sambungkan kabel power saluran listrik bolak balik ke stop-kontak ACV.
7. Putar tombol ON-OFF pada posisi ON. Kira-kira 20 detik kemudian satu jalur garis akan tergambar pada layar CRT. Jika garis ini belum terlihat, putar ombol INTENSITY searah jarum jam. (Lingkaran 10 dan 12).

8. Atur tombol FOCUS dan INTENSITY untuk memperjelas jalur garis. (Lingkaran 10 dan 11).
9. Atur ulang posisi vertikal dan horisontal sesuai dengan kebutuhan. (Lingkaran 7 dan 13).
10. Sambungkan probe ke input saluran-A/channel-A (CH-A) atau ke input saluran B/channel-B (CH-B) sesuai kebutuhan.
11. Sambungkan probes ke terminal CAL untuk memperoleh kalibrasi 0,5Vp-p. (Lingkaran 9).
12. Putar pelemah vertikal (vertical attenuator), saklar VOLTS/DIV pada posisi 10 mV, dan putar tombol VARIABLE searah jarum jam. Putar TRIGGERING SOURCE ke CH-1, gelombang persegi empat (square-wave) akan terlihat di layar. (Lingkaran 5 dan 1).
13. Pindahkan probe dari terminal CAL 0,5Vp-p. Oscilloscope sudah dapat digunakan.

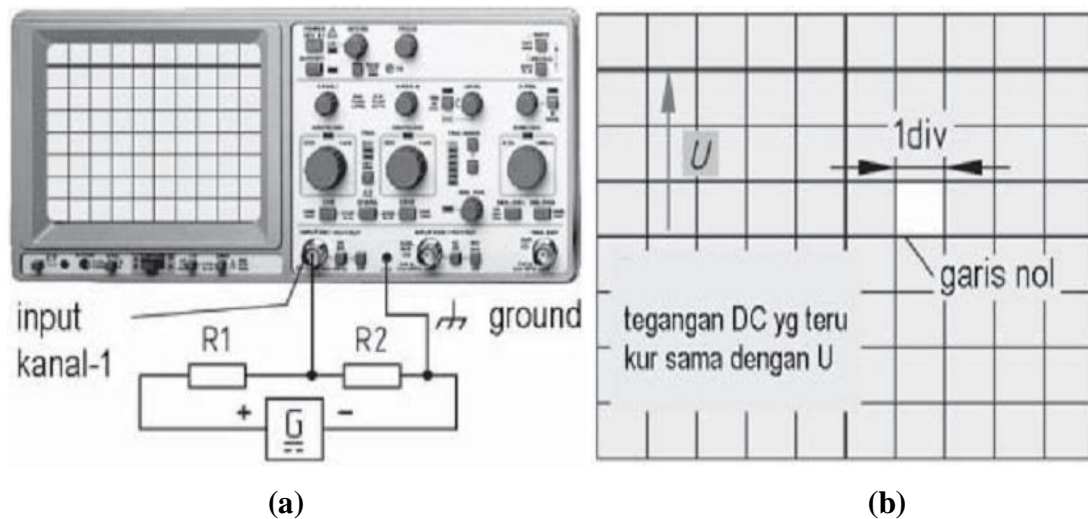
2.4 Pengukuran dengan Oscilloscope

Berikut ini diberikan ilustrasi pengukuran dengan menggunakan osiloskop meliputi:

1. pengukuran tegangan DC,
2. mengukur tegangan AC, periode, dan frekuensi,
3. mengukur arus listrik AC,
4. pengukuran beda fasa tegangan dengan arus listrik AC.

2.4.1 Mengukur Tegangan DC.

Gambar 2.2 (a) menunjukkan skema rangkaian pengukuran tegangan DC. Tahanan R1 dan R2 berfungsi sebagai pembagi tegangan. Ground osiloskop dihubungkan ke negatif catu daya DC. Probe kanal-1 dihubungkan ujung-sambungan R1 dengan R2. Tegangan searah diukur pada mode DC. Hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b).



Gambar 2.2 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Tegangan DC **(b)** Hasil Pengukuran Tegangan DC di Layar Osciloskop.

Misalnya:

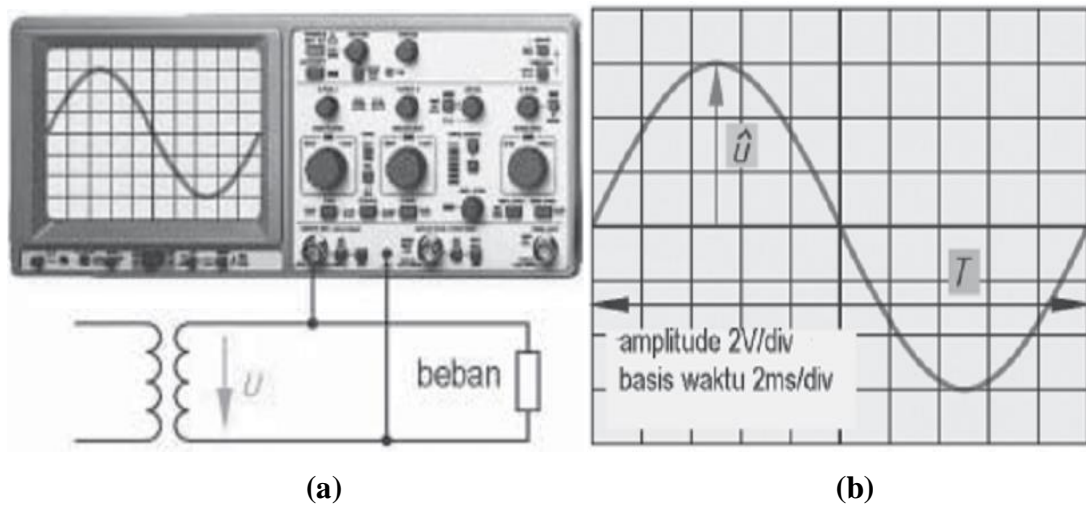
$$VDC = 5V/div. 3div = 15 V$$

Bentuk tegangan DC merupakan garis tebal lurus pada layar CRT. Tegangan terukur diukur dari garis nol ke garis horizontal DC.

2.4.2 Mengukur Tegangan AC, periode, dan frekuensi.

Transformator dalam pengukuran ini digunakan sebagai media pengukuran frekuensi. Transformator yang digunakan adalah jenis step down center tap, pengukuran dilakukan pada bagian sisi gulungan sekunder dengan tegangan 6 Volt AC. Jika menggunakan listrik PLN maka frekuensi osilasi sinyal tegangannya 50 Hz. Sehingga, oscilloscope dapat digunakan sebagai alat frekuensi meter, untuk skema rangkaian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.3 (a) menunjukkan skema rangkaian pengukuran frekuensi pada gulungan sekunder transformator diukur pada mode AC. Hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (b) menunjukkan nilai sumbu y setinggi U yang terdiri dari 3 kotak (1 kotak = 1 div), dimana setiap satu kotak mewakili sebesar 2 volt.

Artinya tombol Volts/Div di oscilloscope diputar ke kiri sehingga mengakibatkan semakin kecil Volts per kotaknya maka tampilan signal semakin besar. Berdasarkan Gambar 2.3 (b) dapat dianalisa dari kedua sumbu y dan sumbu x.



Gambar 2.3 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Frekuensi **(b)** Hasil Pengukuran Tegangan AC di Layar Osciloskop.

Analisa sumbu y dapat dilakukan untuk mencari tegangan puncak V_p . Sedangkan sumbu x, dapat digunakan menganalisa periode sinyal.

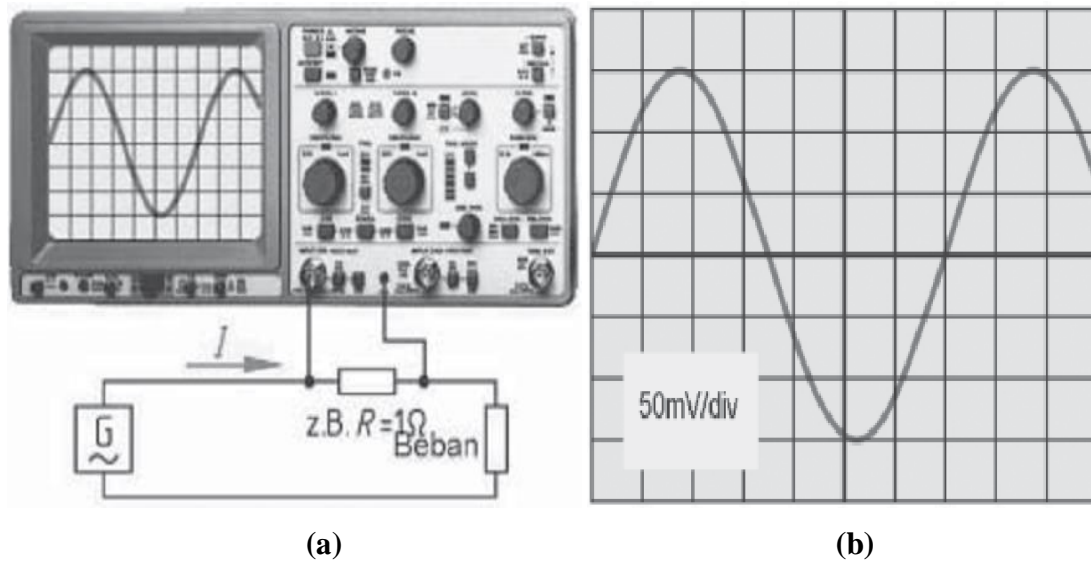
$$V_p = 2V/div \cdot 3 \text{ div} = 6 \text{ V}$$

$$V_{rms} = \frac{6 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 4,2 \text{ V}$$

Pada sumbu x mempunyai nilai selebar T yang terdiri dari 10 kotak., dimana setiap satu kotak mewakili 2 ms. Artinya tombol Time/Div di oscilloscope diputar ke kanan sehingga mengakibatkan semakin kecil Time per kotaknya maka tampilan signal semakin semut. Sehingga dari hubungan ini dapat dianalisa nilai frekuensinya. $T = 2ms/div \cdot 10 \text{ div} = 20 \text{ ms}$ sehingga $f = 1/T = 1/20 \text{ ms} = 50 \text{ Hz}$.

2.4.3 Mengukur Arus Listrik AC

Pada dasarnya osiloskop hanya mengukur tegangan. untuk mengukur arus dilakukan secara tidak langsung dengan $R = 1Watt$ untuk mengukur drop tegangan, untuk skema pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a).



Gambar 2.4 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Arus Listrik AC (b) Hasil Pengukuran Tegangan 50 mV/div

Misalnya: $V_p = 50 \text{ mV/div} \cdot 3\text{div} = 150 \text{ mV} = 0,15 \text{ V}$

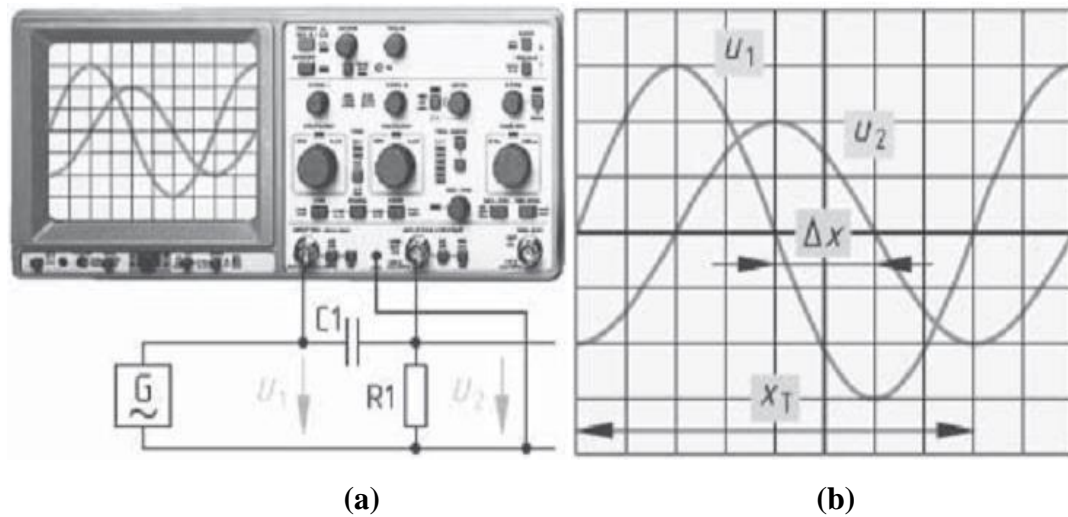
$$V_{\text{rms}} = \frac{0,15 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 0,1 \text{ V}$$

$$I = V_{\text{rms}}/R = 0,1\text{V} / 1\Omega = 0,1 \text{ A}$$

Bentuk sinyal arus yang melalui resistor R adalah sinusoida menyerupai sinyal tegangan. Pada beban resistor sinyal tegangan dan sinyal arus akan sephasa.

2.4.4 Mengukur Beda Fasa

Beda fasa dapat diukur dengan rangkaian filter pasif orde pertama dengan menggunakan rangkaian RC sederhana. Dimana kapasitor C1 dan resistor R1 dirangkai secara seri yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (a). Tegangan U1 menampakkan tegangan catu dari generator AC. Tegangan U2 dibagi dengan nilai resistor R1 representasi dari arus listrik AC. Pergeseran fasa U1 dengan U2 sebesar Δx yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (b). Sehingga dapat dianalisa dan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai pergeseran fasa.



Gambar 2.5 (a) Skema Rangkaian Pengukuran Beda Fasa (b) Hasil Pengukuran beda fasa di Layar Osciloskop.

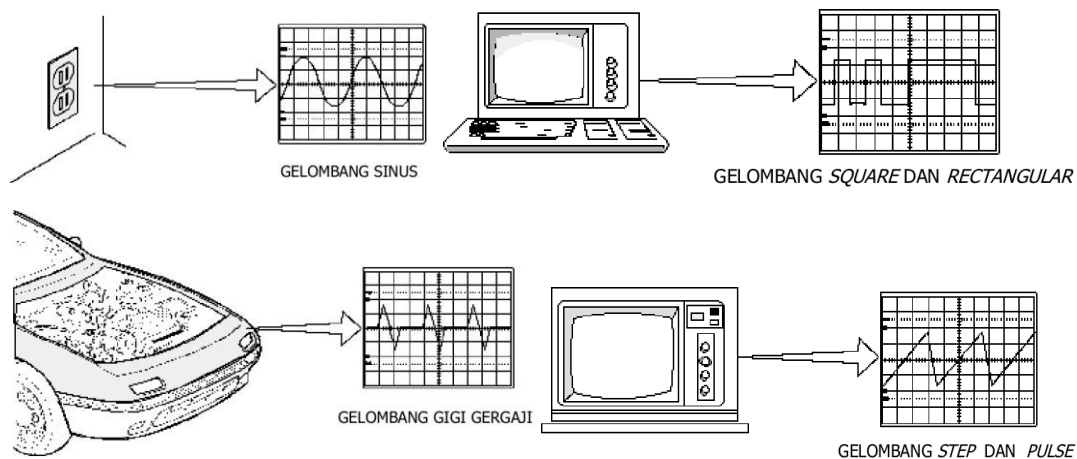
Berdasarkan Gambar 2.5 (b) diketahui lebar Δx sebanyak 2 kotak = 2 div, dan panjang X_T sebanyak 8 kotak = 8 div. Sehingga besar sudut pergeseran antara dua sinyal U_1 dan U_2 adalah :

$$\phi = \frac{\Delta x}{X_T} \cdot 360^\circ = \frac{2 \text{ div}}{8 \text{ div}} \cdot 360^\circ = 90^\circ$$

Tampilan sinyal sinusoida tegangan U_1 (tegangan sumber AC) dan tegangan U_2 adalah pembagi tegangan antara C_1 dengan R_1 , yang juga representasi dari arus AC. Pergeseran fasa antara tegangan dan arus sebesar $\phi = 90^\circ$.

2.4.5 Melihat Gelombang dari Input Luar.

Bentuk-bentuk gelombang dari input luar (external input) yang dapat dilihat dengan menggunakan Oscilloscope adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang dari Input Luar (Jaringan Listrik, TV, dan Mobil)

2.5 Function Generator

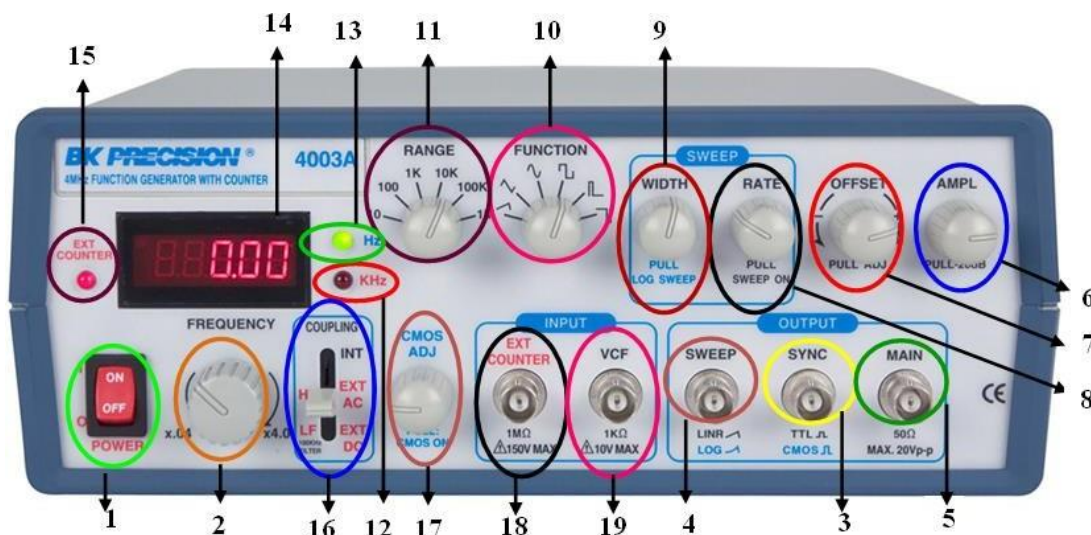
Function Generator adalah alat ukur elektronik yang menghasilkan, atau membangkitkan gelombang berbentuk sinus, segitiga, ramp, segi empat, dan bentuk gelombang pulsa. Function Generator umumnya menghasilkan frekuensi pada kisaran 0,5 Hz sampai 20 Mhz atau lebih tergantung rancangan pabrik pembuatnya. Frekuensi yang dihasilkan dapat dipilih dengan memutar-mutar tombol batas ukur frekuensi (frequency range). Amplitudo sinyal yang dapat diatur berkisar antara 0,1V – 20 Vp-p (tegangan puncak ke puncak) kondisi tanpa beban, dan 0,1 V–10Vp-p (Volt peak to peak/tegangan puncak ke puncak) dengan beban sebesar 50Ω. Output utama ditetapkan oleh SYNC Output. Gambar 2.7 memperlihatkan salah satu bentuk Function Generator yang dimaksud.

2.6 Kontrol Indikator Sinyal Generator/Function Generator

Function Generator dilengkapi dengan kontrol dan indikator yang dapat digunakan sesuai dengan fungsi Function Generator itu sendiri, cermati Lingkaran Gambar 2.7 sembari mengikuti nomor-nomor yang ada pada Gambar 2.7.

1. Saklar ON-OFF. Tekan saklar indikator LED akan menyala.
2. FREQUENCY CONTROL. Digunakan untuk mengatur batas ukur (range) frekuensi dengan faktor pengali dari 0,04 – 4.0.

3. SYNC OUTPUT. Men-sinkronkan permukaan sinyal TTL output yang berbentuk segi empat dengan frekuensi yang dihasilkan oleh output utama (main output).
4. SWEEP OUTPUT. Ayunan sinyal akan tersedia tanpa memperhatikan posisi saklar“SWEEP ON”
5. MAIN OUTPUT. Sinyal output tersedia secara normal atau dalam mode ayunan tergantung pada pilihan mode. Impedans output maksimum 50 Ω .
6. AMPLITUDE KNOB. Sinyal aplitudo dapat diatur dari 0,1Vp-p sampai 20Vp-p dalam kondisi tanpa beban. Jika tombol ditekan, terjadi pelemahan sinyal sebesar 10 kali.
7. DC OFFSET. Tombol pada DC OFFSET akan mengaktifkan tegangan DC pada sinyal utama. Jika tombol diputar searah jarum jam akan dihasilkan tegangan offset positif, diputar ke arah sebaliknya akan dihasilkan tegangan offset negatif.
8. SWEEP RATE. Tombol ini berguna untuk mengatur kecepatan ayunan dari 5 detik ke 25 mili detik. Jika tombol ini ditekan, mode operasi ayunan sinyal akan bekerja.
9. SWEEP WIDHT. Tombol ini digunakan untuk mengatur lebar ayunan sinyal.



Gambar 2.7 Tampilan Depan Sinyal Generator

10. FUNCTION SELECTOR. Saklar untuk memilih bentuk gelombang.
11. FREQUENCY RANGE SELECTOR SWITCH. Saklar pemilih batas (range) frekuensi dari 10 Hz sampai 1MHz.
12. Hz LED. Jika frekuensi output ada pada satuan Hz, LED warna hijau akan menyala.
13. kHz LED. Jika frekuensi output ada pada satuan kHz, LED warna merah akan menyala.
14. 5 DIGIT DISPLAY. Tampilan angka digital untuk menunjukkan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh patern generator, atau untuk menampilkan besarnya sinyal input yang disambungkan pada bagian external input.
15. EXT COUNTER LED. Jika frekuensi luar dikoneksikan dengan Patern Generator, LED mulai menghitung dan akan menampilkan angka tertentu.
16. COUPLING SWITCH. Saklar ini dapat diletakkan pada tiga posisi; frekuensi tinggi internal (Internal High Frequency), frekuensi tinggi eksternal (External High Frequency), dan frekuensi rendah eksternal (External Low Frequency).
17. CMOS ADJUST KNOB. Ketika tombol berada pada mode CMOS, level CMOS dari output "SYNC" akan diatur.
18. EXTERNAL INPUT BNC. Konektor untuk menghitung sinyal frekuensi yang berasal dari luar.
19. VCF INPUT BNC. Untuk menghubungkan sinyal AC atau sinyal DC yang berasal dari luar, dari 0 hingga 10 Volt.

2.7 Pengoperasian Awal Function Generator

Function Generator adalah alat ukur elektronik yang dapat membangkitkan gelombang dalam bentuk sinus, persegi empat dan bentuk gelombang lainnya sesuai dengan kebutuhan. Alat ini juga dapat menghasilkan frekuensi tertentu sesuai dengan kebutuhan. Dalam pengoperasiannya sebagai alat ukur elektronik (bersama Oscilloscope) menjadi alat utama dalam perawatan dan perbaikan perangkat audio-video. Dalam konteks ini Function Generator dapat diatur untuk membangkitkan gelombang dengan frekuensi tertentu, ayunan gelombang sesuai

kebutuhan, dan penghasil frekuensi. Uraian berikut berisikan fungsi Function Generator sebagai;

- A. Function Generator Output,
- B. Sweep Generator Output,
- C. Frequency Counter.

2.7.1 Function Generator Output

Untuk mendapatkan keluaran (output) bentuk gelombang yang diinginkan, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pilih tipe gelombang yang dibutuhkan dengan cara memutar saklar putar (rotary switch) pada control FUNCTION (lihat kembali uraian tentang FUNCTION SELECTOR pada control dan indicator).
2. Pilih batas ukur (range) frekuensi dengan cara memutar saklar pada control RANGE.
3. Hubungkan sinyal dari keluaran utama (Main Output) ke Channel-1 Oscilloscope dan sinyal dari Sync Output ke Channel-2 Oscilloscope. Setel Trigger Source yang terdapat pada Channel-2 Oscilloscope.
4. Dengan tombol pengatur, setel frekuensi sinyal, display akan menampilkan pembacaan frekuensi.
5. Melalui tombol pengatur amplitudo, aturlah amplitudo dari sinyal.
6. Menggunakan tombol OFFSET aturlah DC Offset sesuai dengan tingkat kebutuhan (dari -10 Volt sampai dengan +10 Volt).
7. Sebelum menyambung Function Generator ke beban luar (Oscilloscope, rangkaian audio), periksalah impedans beban.

2.7.2 Sweep Generator Output

Untuk mendapatkan ayunan (sweep) bentuk gelombang yang diinginkan, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Hubungkan terminal keluaran utama (Main Output) ke Channel-1 dari Oscilloscope, keluaran ayunan (Sweep Output) ke Channel-2.
2. Channel-2 dari Oscilloscope menampilkan bentuk gelombang gigi gergaji.

3. Menggunakan tombol “RATE”, atur kecepatan ayunan sinyal (dari 5 detik menjadi 10 mili detik).
4. Atur penggunaan frekuensi sebagaimana penjelasan pada Function Generator Output.
5. Tarik saklar “RATE” untuk membuat mode SWEEP on.
6. Channel-1 akan menampilkan gelombang ayunan (sweep wave).
7. Atur lebar ayunan dengan menggunakan tombol WIDTH.

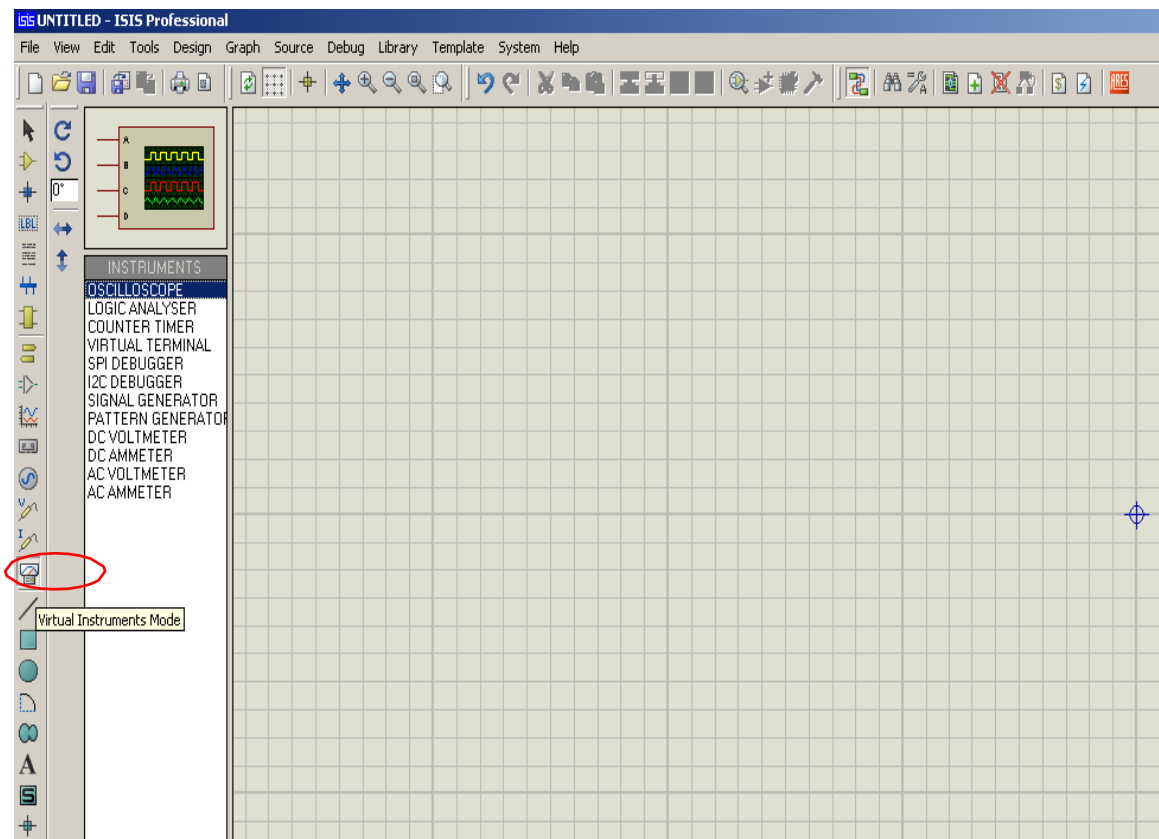
2.7.3 Frequency Counter

Untuk menggunakan Function Generator sebagai Frequency Counter, dibutuhkan langkah-langkah sebagai berikut:

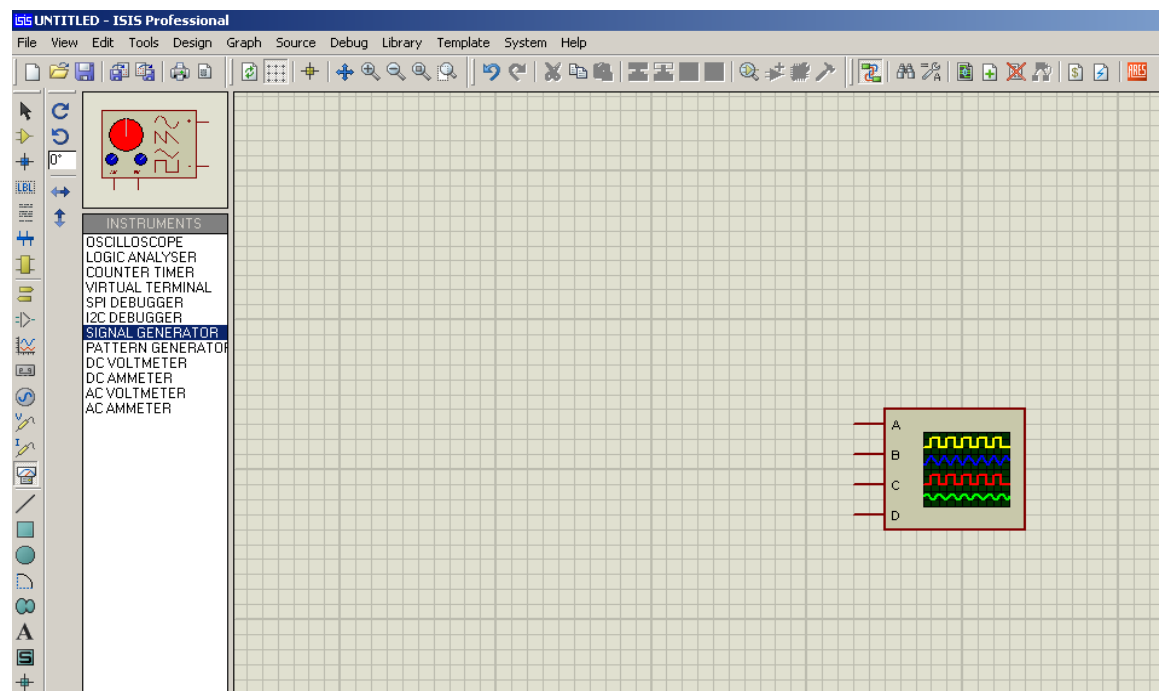
1. Periksa posisi saklar yang terdapat pada control “COUPLING”, saklar pada posisi HF digunakan untuk frekuensi lebih dari 100 kHz. Saklar pada posisi LF digunakan untuk frekuensi di bawah 100 kHz.
2. Pada saat Function Generator berfungsi sebagai Frequency Counter, (saklar pada posisi counting mode), “EXT COUNTER LED” akan menyala.
3. Hubungkan sinyal dari luar yang akan dihitung frekuensinya dengan “EXT COUNTER BNC”.
4. Display akan menampilkan nilai frekuensi dalam Hz/kHz.

2.8 Software Proteus Sebagai Simulator Oscilloscope dan Function Generator.

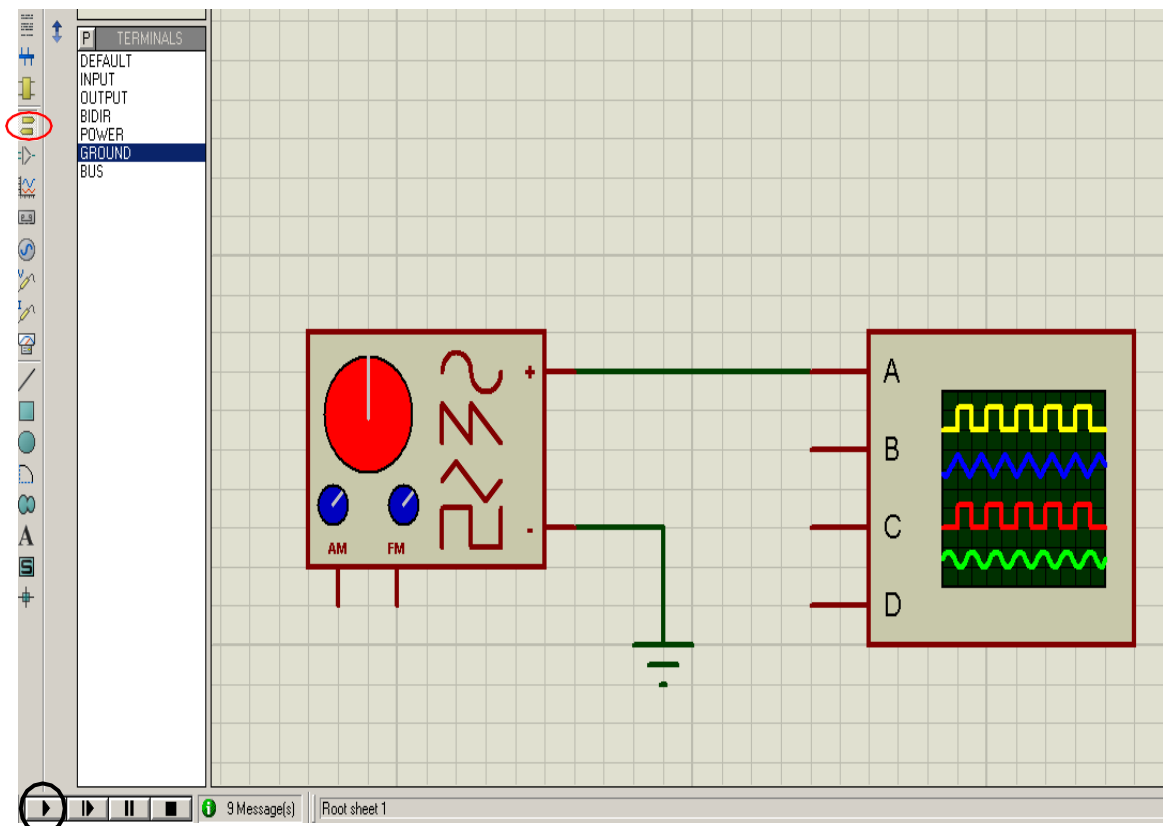
Software Proteus adalah software simulator rangkaian elektronika. Dengan mesin pencari www.google.com carilah di internet free software proteus 7.9 profesional, kemudian anda install di PC atau laptop Anda. Berikut langkah – langkah penggunaan software proteus7 profesional untuk mensimulasikan penggunaan oscilloscope dan function generator sebagai media pembelajaran Bab 2 ini. Gambar 2.8. Klik tolls vitual instruments mode yang dilingkari warna merah. Kemudian double klik di layar kerja software proteus. Gambar 2.9 Klik komponen signal generator yang di linkari warna merah. Kemudian double klik di layar kerja software proteus.



Gambar 2.8 Mencari Komponen Oscilloscope

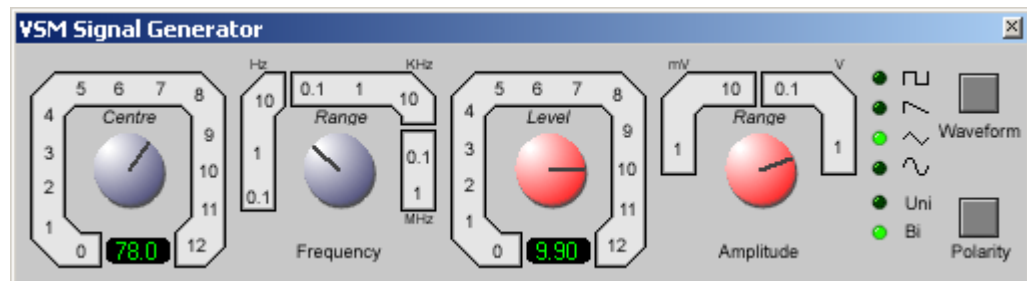


Gambar 2.9 Mencari Komponen Signal Generator



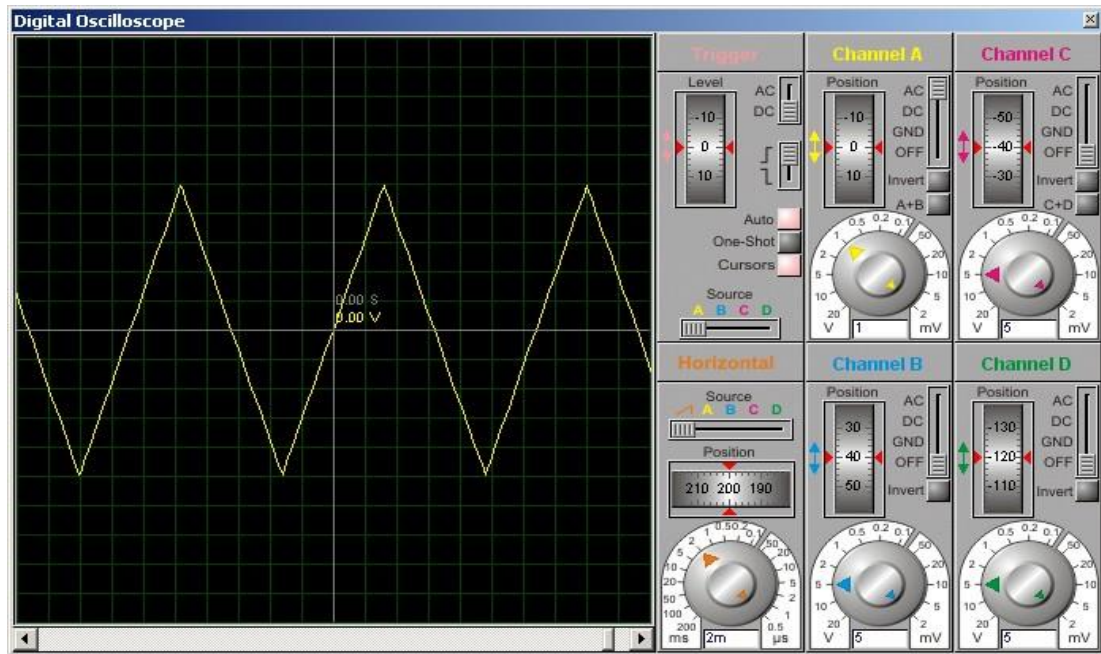
Gambar 2.10 Rangkaian Simulator Oscilloscope dan Signal Generator

Cermati dengan teliti lingkaran pada Gambar 2.10. Klik lingkaran warna merah pada sisi kiri toll bar software proteus cari komponen Ground yang yang diblog warna biru. Kemudian double klik di layar kerja software proteus. Polaritas (+) signal generator dihubungkan dengan channel A. Polaritas (-) dihubungkan dengan komponen Ground. Klik lingkaran warna hitam dipojok kiri bawah untuk merunning simulasi.



Gambar 2.11 Tampilan Kontrol Indikator Signal Generator

Setelah Anda running, akan muncul dua tampilan kontrol indikator signal generator dan oscilloscope di layar kerja software proteus yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12. Silahkan Anda setting tombol-tombol indikatornya sesuai dengan Gambar 2.11 dan Gambar 2.12. Alangkah baiknya jika Anda mencoba untuk mengobservasi sendiri.



Gambar 2.12 Tampilan Kontrol Indikator Oscilloscope

Rangkuman 2

1. Oscilloscope adalah alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk sinyal gelombang tegangan dalam bentuk sinus maupun bukan sinus.
2. Dengan Oscilloscope dapat dilihat bentuk gelombang Tegangan Listrik Suara (audio), bentuk gelombang Tegangan Listrik Arus Bolak Balik yang berasal dari generator pembangkit tenaga listrik, maupun Tegangan Listrik Arus Searah yang berasal dari catu daya/baterai.
3. Oscilloscope juga digunakan untuk keperluan, mengukur tegangan dan menghitung frekuensi, mengukur frekuensi yang tidak diketahui. melihat bentuk sinyal gelombang listrik baik dari input luar maupun dari generator pembangkit sinyal (Signal Generator).

4. Berdasarkan prinsip kerjanya oscilloscope dibedakan menjadi dua yaitu oscilloscope analog dan digital.
5. Function Generator adalah alat ukur elektronik yang menghasilkan, atau membangkitkan gelombang yang berbentuk sinus, segitiga, ramp (tanjakan), segi empat, dan bentuk gelombang pulsa.
6. Function Generator umumnya menghasilkan frekuensi pada kisaran 0,5 Hz sampai 20 Mhz atau lebih.
7. Function Generator dapat menghasilkan keluaran (output) ayunan gelombang atau Sweep Generator Output, Frequency Counter, menghitung frekuensi.

Diskusi Group 3

1. Bentuklah kelompok belajar (maksimum 4 orang)
2. Pergilah ke toko penjual alat ukur elektronik di kotamu (jika ada), catatlah kontrol dan indikator yang ada pada Oscilloscope yang dijual di toko tersebut dan bandingkan dengan kontrol dan indikator Oscilloscope yang ada pada modul ini.
3. Jika butir 2 tidak dapat dilaksanakan (karena toko penjual alat ukur elektronik tidak ada), cermatilah kontrol dan indikasi (petunjuk) Oscilloscope yang ada di laboratorium tempat Anda belajar, bandingkan dengan kontrol indikator Oscilloscope yang ada pada modul ini.
4. Dengan mesin pencari www.google.com carilah di internet, gambar, sistem kerjanya, dan petunjuk pemakaian Oscilloscope analog dan digital, bandingkan dengan Oscilloscope yang ada pada modul ini.

Diskusi Group 4

A. Petunjuk Pelaksanaan Bagaimana Menggunakan Oscilloscope Untuk:

1. Mengukur Tegangan Listrik Bolak balik/Alternating Current (AC).
2. Mengukur Tegangan Listrik Searah/Direct Curent (DC).
3. Menghitung Frekuensi.

B. Alat dan Bahan.

- Alat
 1. satu buah Oscilloscope dual trace.
 2. satu buah Signal Generator
 3. satu buah Multimeter
- Bahan
 1. satu buah baterai kering (dry cell) tipe UM-1
 2. satu buah trafo catu daya (220 Volt – 6 Volt/9 Volt)

C. Langkah Kerja

1. Bacalah petunjuk awal penggunaan Oscilloscope.
2. Hidupkan Oscilloscope.
3. Posisikan Oscilloscope untuk pengukuran tegangan AC.
4. Sambungkan trafo catu daya ke jaringan listrik AC 220 Volt.
5. Ukurlah tegangan AC yang dihasilkan skunder trafo (6 Volt AC atau 9 Volt AC)
6. Dengan menggunakan Multimeter, ukur tegangan AC yang dihasilkan skunder trafo.
7. Catatlah hasil pengukuran.
8. Bandingkan hasil pengukuran Oscilloscope dengan hasil pengukuran Multimeter.
9. Posisikan Oscilloscope untuk pengukuran tegangan DC.
10. Ukurlah tegangan sebuah baterai primer AA atau AAA.
11. Catatlah hasil pengukuran.
12. Posisikan Oscilloscope untuk menghitung frekuensi.
13. Hidupkan Signal Generator.
14. Hubungkan Signal Generator dengan input Oscilloscope.
15. Hitunglah frekuensinya.

Latihan 2

1. Oscilloscope adalah ?
2. Dengan Oscilloscope dapat dilihat bentuk gelombang ?
3. Diketahui gelombang sinus pada posisi kontrol dan indikasi Oscilloscope.

Tombol

TIME/DIV berada pada posisi 5 msec (5 mili second) dan tombol VOLTS/DIV pada posisi 2V. Berapakah.

- a. Jika diketahui VOLTS/DIV pada posisi 2V, dengan demikian 1 kotak/1 DIV pada layar CRT = ?
 - b. Tegangan puncak (peak voltage) = ?
 - c. Tegangan dari puncak ke puncak (peak to peak voltage) = ?
 - d. Frekuensi sinyal = ?
4. Function Generator adalah alat ukur yang digunakan untuk ?
 5. Function Generator dapat difungsikan sebagai ?

MODUL 3

Petunjuk Penggunaan

Pada modul 3 ini terdiri dari satu bab yang membahas konsep dasar tentang listrik dinamis dan listrik arus bolak-balik yang memuat hukum – hukum dasar kelistrikan yang sebagai penunjang dimodul 4, serta memuat kajian atau teori dalam menganalisa rangkaian.

Baca dan pelajari dengan teliti isi Modul 3 ini. Diskusikan berbagai hal yang terasa sulit difahami bersama teman – teman Anda. Kerjakan berbagai contoh yang ada secara mandiri, jika tidak berhasil silakan perhatikan jawaban yang disediakan. Terakhir, kerjakan soal – soal diakhir bab untuk mengetahui tingkat pemahaman dan ketuntasan Anda dalam mempelajari modul ini.

Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari Modul 3 ini diharapkan Anda dapat:

1. Memahami aliran listrik, arus listrik, kuat arus listrik, beda potensial, hukum ohm, hukum kirchhof, kuat arus listrik dalam rangkaian sederhana, kuat arus listrik dalam rangkaian majemuk (kompleks), rangkaian hambatan listrik seri dan parallel, daya listrik.
2. Memahami rangkaian listrik bolak-balik, rangkaian resistor, inductor, kapasitor dirangkai AC, rangkaian seri RLC, daya rangkaian arus bolak – balik.

Indikator Pembelajaran

1. Menerapkan dengan sederhana, mengidentifikasi penerapan listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari.
2. Menerapkan persamaan – persamaan konsep dasar listrik dinamis dan listrik bolak-balik

BAB III

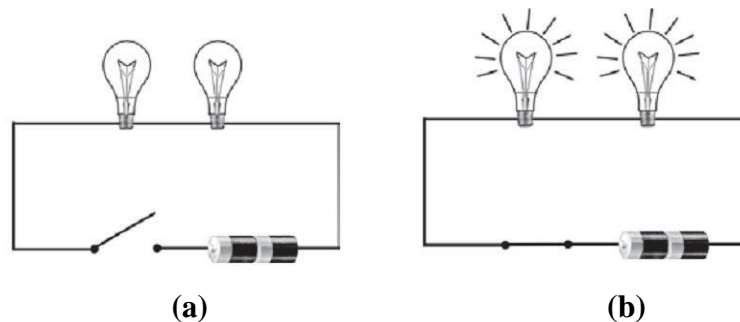
LISTRIK SEARAH DAN BOLAK - BALIK

3.1 Aliran Listrik

Pada kehidupan sehari-hari, Anda sering menjumpai adanya rangkaian listrik, mulai dari rangkaian listrik yang sederhana sampai rangkaian yang sangat rumit. Pernahkah Anda mengamati rangkaian listrik pada lampu senter, radio, atau televisi? Pernahkah Anda berpikir mengapa lampu senter, radio, dan televisi dapat berfungsi? Listrik terbentuk karena energi mekanik dari generator yang menyebabkan perubahan medan magnet di sekitar kumparan. Perubahan ini menyebabkan timbulnya aliran muatan listrik pada kawat/penghantar. Aliran muatan listrik pada kawat Anda kenal sebagai arus listrik. Aliran muatan dapat berupa muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). Aliran listrik yang mengalir pada penghantar dapat berupa arus searah atau direct current (DC) dan dapat berupa arus bolak-balik atau alternating current (AC). Pada bab ini, Anda akan mempelajari besaran-besaran listrik, rangkaian listrik, dan penerapan alat listrik dalam kehidupan sehari-hari.

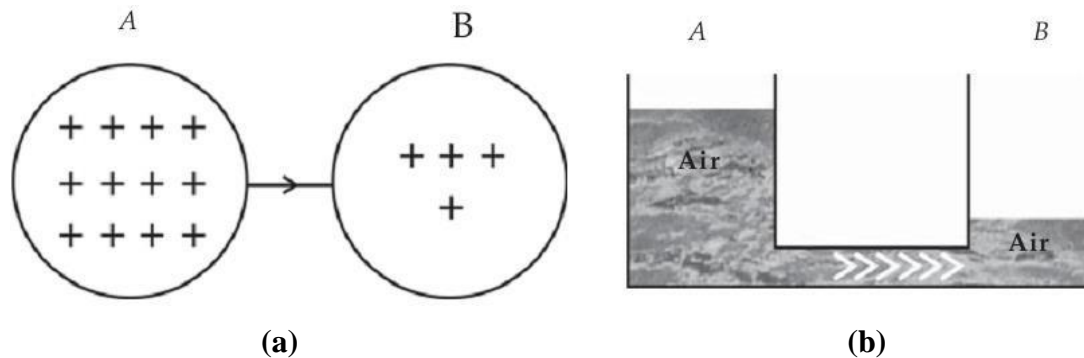
3.2 Arus Listrik

Pada dasarnya rangkaian listrik dibedakan menjadi dua, yaitu rangkaian listrik terbuka dan rangkaian listrik tertutup yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Rangkaian listrik terbuka adalah suatu rangkaian yang belum dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan rangkaian listrik tertutup adalah suatu rangkaian yang sudah dihubungkan dengan sumber tegangan.



Gambar 3.1 (a) Rangkaian listrik terbuka (b) Rangkaian listrik tertutup

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran muatan-muatan listrik. Aliran muatan listrik positif identik dengan aliran air. Perhatikan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aliran muatan listrik positif dari A ke B identik dengan aliran air dari A ke B yang disebut arus listrik. **(a)** Aliran listrik **(b)** Aliran air.

Air dalam bejana A mempunyai energi potensial lebih tinggi daripada air dalam bejana B, sehingga terjadi aliran air dari bejana A menuju bejana B atau dikatakan bahwa potensial di A lebih tinggi daripada potensial di B sehingga terjadi aliran muatan listrik dari A ke B. Jadi, dapat dikatakan bahwa muatan listrik positif mengalir dari titik berpotensi tinggi ke titik berpotensi rendah. Selanjutnya, aliran muatan listrik positif tersebut dinamakan arus listrik. Jadi, arus listrik dapat didefinisikan sebagai aliran muatan positif dari potensial tinggi ke potensial rendah. Arus listrik terjadi apabila ada perbedaan potensial. Bagaimana bila dua titik yang dihubungkan mempunyai potensial yang sama? Tentu saja tidak ada aliran muatan listrik positif atau tidak terjadi arus listrik.



Sumber: Jendela Iptek, Listrik

Gambar 3.3 J.J Thompson

Anda pasti berpikir bagaimana halnya dengan muatan listrik negative ? Apakah muatan listrik ne-gatif tidak dapat mengalir? Pada perkembanganselanjutnya, setelah elektron ditemukan oleh ilmuwan fisika J.J. Thompson (1856–1940) Gambar 3.3, ternyata muatan yang mengalir pada suatu penghantar bukanlah muatan listrik positif, melainkan muatan listrik negatif yang disebut elektron. Arah aliran elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi (berlawanan dengan arah aliran muatan positif). Namun hal ini tidak menjadikan masalah, karena banyaknya elektron yang mengalir dalam suatu penghantar sama dengan banyaknya muatan listrik positif yang mengalir, hanya arahnya yang berlawanan. Jadi, arus listrik tetap didefinisikan berdasarkan aliran muatan positif yang disebut arus konvensional.

3.3 Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik merupakan kecepatan aliran muatan listrik. Dengan demikian, yang dimaksud dengan kuat arus listrik adalah jumlah muatan listrik yang melalui penampang suatu penghantar setiap satuan waktu. Bila jumlah muatan q melalui penampang penghantar dalam waktu t , maka kuat arus I secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$I = \frac{q}{t}$$

Keterangan:

I : kuat arus listrik (A)

q : muatan listrik yang mengalir (C)

t : waktu yang diperlukan (s)

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa satu coulomb adalah muatan listrik yang melalui sebuah titik dalam suatu penghantar dengan arus listrik tetap satu ampere dan mengalir selama satu sekon. Mengingat muatan elektron sebesar $-1,6 \times 10^{-19}$ C, (tanda negatif (-) menunjukkan jenis muatan negatif), maka banyaknya elektron (n) yang menghasilkan muatan 1 coulomb dapat dihitung sebagai berikut.

$$1 \text{ C} = n \times \text{besar muatan elektron}$$

$$1 \text{ C} = n \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19}}$$

$$n = 6,25 \times 10^{18}$$

Jadi, dapat dituliskan $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$ elektron.

Contoh:

Diketahui dalam waktu 1 menit, pada suatu penghantar mengalir muatan sebesar 150 coulomb. Berapa kuat arus yang mengalir pada penghantar tersebut?

Diketahui : $t = 1 \text{ menit} = 60 \text{ s}$, $q = 150 \text{ C}$

Ditanyakan: $I = \dots ?$

Jawab :

$$I = \frac{q}{t} = \frac{150}{60} = 2,5 \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir pada penghantar adalah 2,5 A.

3.4. Beda Potensial

Potensial listrik adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda. Suatu benda dikatakan mempunyai potensial listrik lebih tinggi daripada benda lain, jika benda tersebut memiliki muatan positif lebih banyak daripada muatan positif benda lain.



Gambar 3.4 Muatan listrik pada beberapa benda

Pada Gambar 3.4, terlihat bahwa benda A memiliki muatan positif paling banyak sehingga benda A mempunyai potensial listrik paling tinggi, disusul benda B, C, baru kemudian D. Apa yang dimaksud dengan beda potensial? Beda potensial listrik (tegangan) timbul karena dua benda yang memiliki potensial listrik berbeda dihubungkan oleh suatu penghantar. Beda potensial ini berfungsi untuk mengalirkan muatan dari satu titik ke titik lainnya. Satuan beda potensial adalah volt (V). Alat yang digunakan untuk mengukur beda potensial listrik disebut voltmeter. Secara matematis beda potensial dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V = \frac{W}{q}$$

Keterangan:

V : beda potensial (V)

W : usaha/energi (J)

q : muatan listrik (C)

Contoh :

Untuk memindahkan muatan 4 coulomb dari titik A ke B diperlukan usaha sebesar 10 joule. Tentukan beda potensial antara titik A dan B! Diketahui : $q = 4 \text{ C}$, $W = 10 \text{ J}$. Ditanyakan: $V = \dots ?$

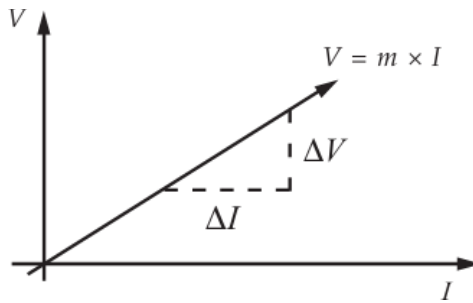
Jawab :

$$V = \frac{W}{q} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ V}$$

3.5 Hukum Ohm

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran arus listrik. Arus listrik mengalir karena adanya beda potensial antara dua titik pada suatu penghantar, seperti pada lampu senter, radio, dan televisi. Alat-alat tersebut dapat menyala (berfungsi) karena adanya aliran listrik dari sumber tegangan yang dihubungkan dengan peralatan tersebut sehingga menghasilkan beda potensial. Orang pertama yang menyelidiki hubungan antara kuat arus listrik dengan beda potensial pada suatu penghantar adalah Georg Simon Ohm, ahli fisika dari Jerman. Ohm berhasil menemukan hubungan secara matematis antara kuat arus listrik dan beda potensial, yang kemudian dikenal sebagai Hukum Ohm.

Dalam hubungan beda potensial dan kuat arus. Anda ketahui bahwa makin besar beda potensial yang ditimbulkan, maka kuat arus yang mengalir makin besar pula. Besarnya perbandingan antara beda potensial dan kuat arus listrik selalu sama (konstan). Jadi, beda potensial sebanding dengan kuat arus ($V \sim I$). Secara matematis dapat Anda tuliskan $V = m \times I$, m adalah konstanta perbandingan antara beda potensial dengan kuat arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar grafik berikut!



Gambar 3.5 Grafik hubungan antara kuat arus dengan beda potensial.

Berdasarkan grafik di atas, nilai m dapat Anda peroleh dengan persamaan

$$m = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Nilai m yang tetap ini kemudian didefinisikan sebagai besaran hambatan listrik yang dilambangkan R , dan diberi satuan ohm Ω , untuk menghargai Georg Simon Ohm. Jadi, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$R = \frac{V}{I}$$

Keterangan:

V : beda potensial atau tegangan (V)

I : kuat arus (A)

R : hambatan listrik (Ω)

Persamaan di atas dikenal sebagai Hukum Ohm, yang berbunyi “*Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu dengan syarat suhunya konstan/tetap.*”

Contoh:

Pada kehidupan sehari-hari, kadang kita menemukan sebuah alat listrik yang bertuliskan 220 V/2 A. Tulisan tersebut dibuat bukan tanpa tujuan. Tulisan tersebut menginformasikan bahwa alat tersebut akan bekerja optimal dan tahan lama (awet) ketika dipasang pada tegangan 220 V dan kuat arus 2 A. Bagaimana kalau dipasang pada tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah? Misalnya, ada 2 lampu yang bertuliskan 220 V/2 A, masing-masing dipasang pada tegangan 440 V dan 55 V. Apa yang terjadi? Tulisan 220 V/2 A menunjukkan bahwa lampu tersebut mempunyai

hambatan sebesar $R = \frac{220 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 110 \Omega$. Jadi, arus listrik yang diperbolehkan mengalir sebesar 2 A dan tegangannya sebesar 220 V. Jika dipasang pada tegangan 440 V, maka akan mengakibatkan kenaikan

arus menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{440}{110} = 4 \text{ A}$. Arus sebesar ini mengakibatkan lampu tersebut

bersinar sangat terang tetapi tidak lama kemudian menjadi putus/rusak. Begitu juga apabila lampu tersebut dipasang pada tegangan 55 V, maka arus akan mengalami

penurunan menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{55}{110} = 0,5 \text{ A}$. Arus yang kecil ini mengakibatkan lampu

menjadi redup (tidak terang). Oleh karena itu, perhatikan selalu petunjuk penggunaan apabila meng-gunakan alat-alat listrik.

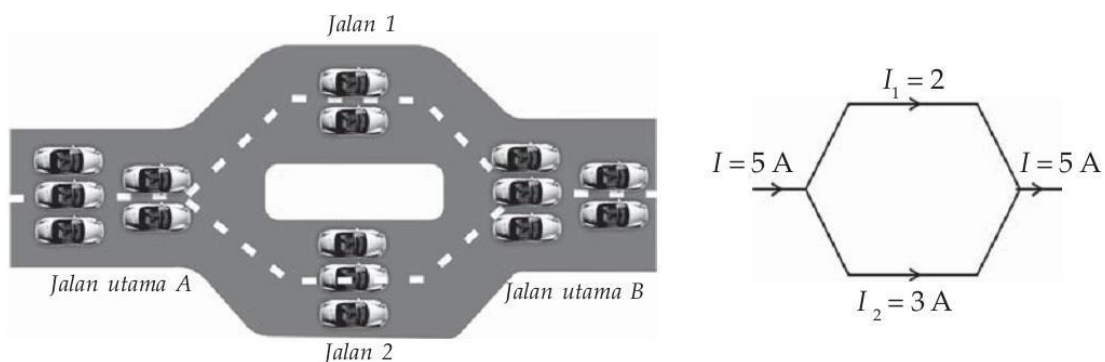
3.6 Hukum Kirchhoff

3.6.1. Hukum I Kirchhoff.

“Arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan kuat arus yang keluar pada titik percabangan tersebut”. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum I Kirchhoff, yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

Untuk lebih memahami kuat arus pada rangkaian listrik bercabang, dapat Anda umpamakan sebagai jalan raya yang bercabang.



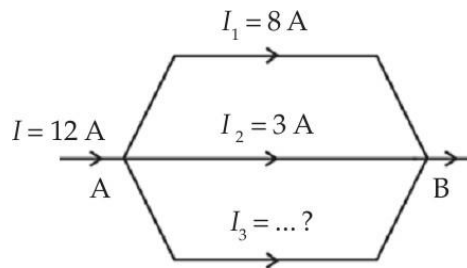
Gambar 3.6 Jumlah arus tiap titik pada rangkaian bercabang.

Pada Gambar 4.6, terlihat bahwa jumlah mobil di jalan utama A sebanyak lima buah, kemudian mobil tersebut berpecah di persimpangan sehingga yang melewati jalan satu sebanyak 2 buah dan jalan dua sebanyak tiga buah. Pada

persimpangan yang lain, mobil-mobil tersebut bertemu lagi di jalan utama B sehingga mobil yang melewati jalan utama B sama dengan jumlah mobil yang melewati jalan satu dan dua atau jumlah mobil yang melewati jalan utama A.

Contoh:

1. Pada gambar rangkaian Gambar 4.7 di bawah! Berapa besar kuat arus pada I_3 .



Gambar 3.7. Soal Rangkaian 1

Diketahui : $I_{\text{masuk}} = 12 \text{ A}$, $I_1 = 8 \text{ A}$, $I_2 = 3 \text{ A}$

Ditanyakan: $I_3 = \dots ?$

Jawab :

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$$

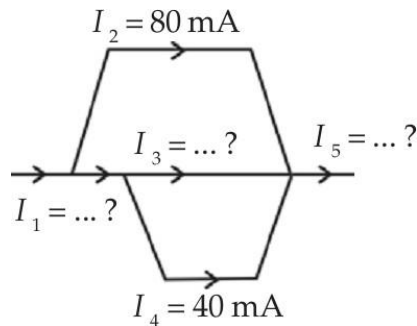
$$12 = 8 + 3 + I_3$$

$$12 = 11 + I_3$$

$$I_3 = 12 - 11$$

$$I_3 = 1 \text{ A.}$$

2. Perhatikan Gambar 3.8 ! Jika besarnya arus yang masuk 200 mA, maka hitunglah besarnya kuat arus I_1 , I_3 dan I_5 !



Gambar 3.8. Soal Rangkaian 2

Diketahui : $I_{\text{masuk}} = 200 \text{ mA}$, $I_2 = 80 \text{ mA}$, $I_4 = 40 \text{ mA}$.

Ditanyakan: a. $I_1 = \dots ?$, b. $I_3 = \dots ?$, c. $I_5 = \dots ?$

Jawab :

a. $I_{\text{masuk}} = I_1 + I_2$

$$200 = I_1 + 80$$

$$I_1 = 200 - 80 = 120 \text{ mA}$$

b. $I_1 = I_3 + I_4$

$$120 = I_3 + 40$$

$$I_3 = 120 - 40 = 80 \text{ mA}$$

c. $I_5 = I_2 + I_3 + I_4 = 80 + 80 + 40 = 200 \text{ mA}$.

3.6.2 Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff atau hukum loop menyatakan bahwa jumlah perubahan potensial yang mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus sama dengan nol. Hukum ini didasarkan pada hukum kekekalan energi. Secara matematis hukum II Kirchhoff dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

Keterangan:

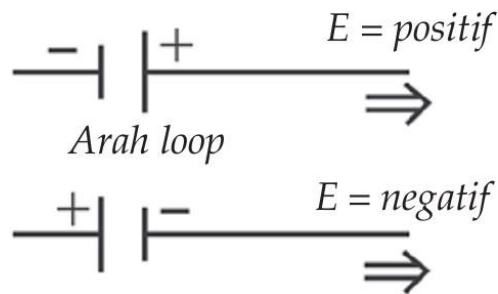
E : ggl sumber arus (volt)

I : kuat arus (A)

R : hambatan (Ω)

Pada perumusan hukum II Kirchhoff, mengikuti ketentuan sebagai berikut.

- Semua hambatan (R) dihitung positif.
- Pada arah perjalanan atau penelusuran rangkaian tertutup (loop), jika sumber arus berawal dari kutub negatif ke kutub positif, maka ggl-nya dihitung positif. Jika sebaliknya dari kutub positif ke kutub negatif, maka ggl nya dihitung negatif.

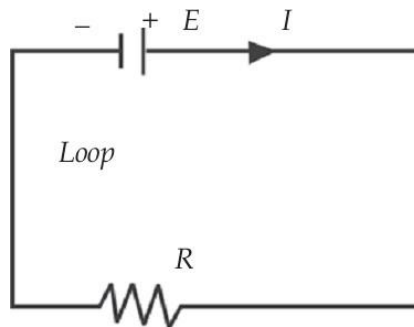


Gambar 3.9 Tanda positif dan negatif ggl.

- c. Arus yang searah dengan penelusuran loop dihitung positif, sedang yang berlawanan dengan arah penelusuran dihitung negatif.
- d. Jika hasil akhir perhitungan kuat arus bernilai negatif, maka kuat arus yang sebenarnya merupakan kebalikan dari arah yang ditetapkan.

3.7 Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Sederhana.

Pada dasarnya sumber tegangan ggl memiliki hambatan dalam yang disimbulkan dengan r . Nilai r ini adalah nilai hambatan yang ada dalam ggl sumber tegangan pada suatu rangkaian. Perhatikan Gambar 4.10!



Gambar 3.10 Rangkaian tertutup

Pada Gambar 3.10 melukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas sebuah sumbu arus dengan ggl E , hambatan dalam r , dan sebuah penghambat dengan hambatan R , sedang arus pada rangkaian I . Menurut hukum II Kirchhoff, pada rangkaian berlaku persamaan seperti berikut.

$$E = (I \times r) + (I \times R) \text{ atau } E = I (r + R) \text{ atau } I = \frac{E}{r + R}$$

Keterangan:

E : ggl sumber arus (V)

I : kuat arus (A)

r : hambatan dalam sumber arus (Ω)

R : hambatan penghambat (Ω)

Nilai $I \times R$ pada persamaan di atas merupakan tegangan penggunaan di luar sumber arus yang disebut tegangan jepit (K). Jadi, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$E = I \times r + K \text{ atau } K = E - I \times r$$

Keterangan:

K : tegangan jepit (V).

Contoh.

Sebuah kawat penghantar dengan hambatan 11,5 ohm dihubungkan dengan sumber tegangan 6 V yang hambatan dalamnya 0,5 ohm. Hitunglah kuat arus pada rangkaian dan tegangan jepitnya!

Diketahui :

a. $R = 11,5 \Omega$,

b. $E : 6 \text{ V}$

c. $r = 0,5 \Omega$.

Ditanyakan:

a. $I = \dots?$

b. $K = \dots?$

Jawab :

a. Kuat arus pada rangkaian.

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{6}{11,5 + 0,5} = 0,5 \text{ A}$$

b. Tegangan Jepit.

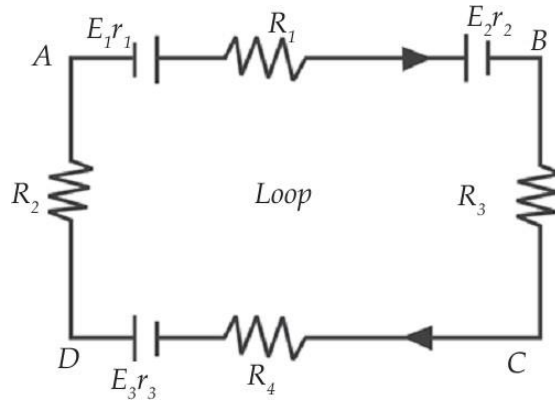
$$K = I \times R = 0,5 \times 11,5 = 5,75 \text{ V}.$$

3.8 Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Majemuk (Kompleks).

Gambar 3.11 menunjukkan satu rangkaian tertutup yang terdiri atas satu loop. Misalkan arah arus dan arah penelusuran loop kita tentukan searah putaran jarum jam. Menurut hukum II Kirchhoff pada rangkaian berlaku persamaan:

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

Oleh karena itu persamaannya menjadi seperti berikut.



Gambar 3.11 Rangkaian satu loop.

$$E_1 - E_2 + E_3 = I (r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3 + R_4 + r_3)$$

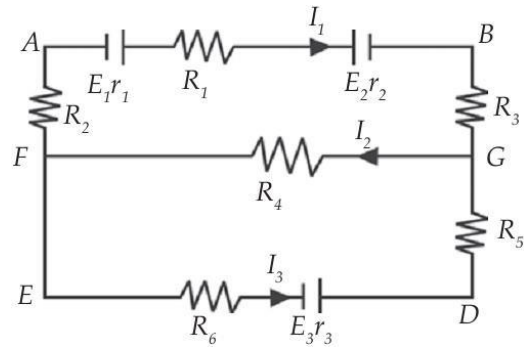
Jika pada penjabaran di atas dihasilkan nilai I negatif, maka arah arus yang sebenarnya adalah kebalikan dari arah yang ditentukan pada gambar. Bagaimana jika penelusuran rangkaian berawal dari satu titik dan berakhir pada titik lain? Misalkan Anda akan menentukan tegangan atau beda potensial antara titik A dan B pada Gambar 3.11. Berdasarkan Hukum II Kirchhoff dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{AB} + \sum E = \sum (I \times R)$$

$$V_{AB} + E_1 - E_2 = I (r_1 + R_1 + r_2)$$

$$V_{AB} = I (r_1 + R_1 + r_2) - E_1 + E_2$$

Untuk rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih dapat diselesaikan dengan hukum II Kirchhoff dan hukum I Kirchhoff. Perhatikan Gambar 3.12!



Gambar 3.12 Rangkaian dua loop.

Pada gambar di atas dilukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas dua loop. Arah arus dan arah penelusuran tiap loop. Misalkan Anda bagi menjadi seperti berikut.

- Loop I ABGFA

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

$$E_1 - E_2 = I_1 (r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3) + I_2 \times R_4$$

- Loop II FEDGF

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

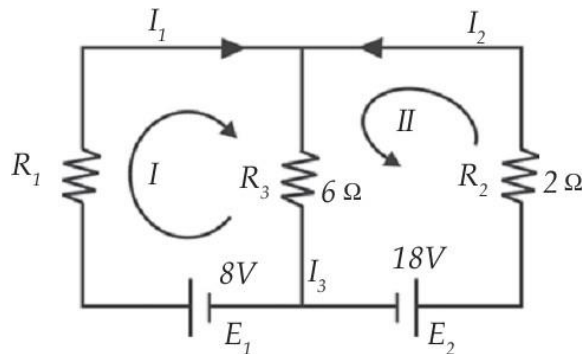
$$E_3 = I_3 (R_6 + r_3 + R_5) + I_2 \times R_4$$

- Penerapan Hukum I Kirchhoff

$$I_2 = I_1 + I_3$$

Contoh:

Hitung kuat arus pada masing-masing penghambat pada gambar berikut!



Gambar 3.13 Rangkaian soal 3

Diketahui :

$$\text{a. } E_1 = 8 \text{ V, b. } R_1 = 4 \, \Omega, \text{ c. } E_2 = 18 \text{ V, d. } R_2 = 2 \, \Omega, \text{ e. } R_3 = 6 \, \Omega$$

Ditanyakan:

$$\text{a. } I_1 = \dots? \text{ b. } I_2 = \dots? \text{ c. } I_3 = \dots?$$

Jawab:

• Hukum I Kirchhoff

$$I_3 = I_1 + I_2 \dots\dots\dots (1)$$

• Loop I

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

$$8 = I_1 \times 4 + I_3 \times 6$$

$$8 = I_1 \times 4 + (I_1 + I_2) 6$$

$$8 = 10 I_1 + 6 I_2 \dots\dots\dots (2)$$

• Loop II

$$E_2 = I_2 \times R_2 + I_3 \times R_3$$

$$18 = I_2 \times 2 + (I_2 + I_1) 6$$

$$18 = 2 I_2 + 6 I_1 + 6 I_2$$

$$9 = 3 I_1 + 4 I_2 \dots\dots\dots (3)$$

Anda eliminasi persamaan (2) dan (3)

$$16 = 20 I_1 + 12 I_2$$

$$27 = 9 I_1 + 12 I_2$$

$$\hline -11 = 11 I_1 \quad \text{---}$$

$$I_1 = -1 \text{ A}$$

Nilai I_1 , Anda masukkan ke persamaan (2)

$$8 = 10 I_1 + 6 I_2$$

$$8 = 10 (-1) + 6 I_2$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

Nilai I_2 , Anda masukkan pada persamaan (1)

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$= -1 + 3 = 2$$

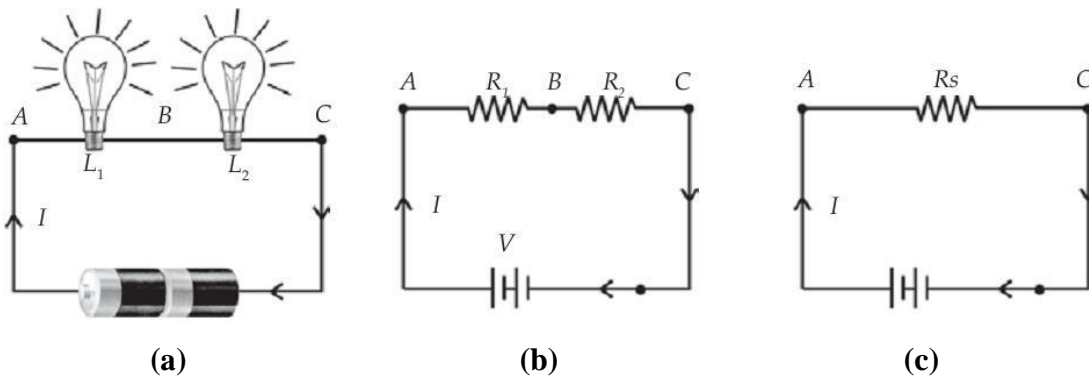
I_1 negatif, berarti I berlawanan dengan arah yang telah ditentukan.

3.9 Rangkaian Hambatan Listrik

Pada rangkaian listrik, mungkin Anda sering menjumpai beberapa hambatan yang dirangkai secara bersama-sama. Hambatan yang dimaksud di sini bukan hanya resistor, melainkan semua peralatan yang menggunakan listrik, seperti lampu, radio, televisi, dan setrika listrik. Rangkaian hambatan listrik dibedakan menjadi dua, yaitu seri dan paralel.

3.9.1 Rangkaian Hambatan Seri

Rangkaian hambatan seri adalah rangkaian yang disusun secara ber-urutan (segaris). Pada rangkaian hambatan seri yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, besar kuat arus di setiap titik dalam rangkaian tersebut adalah sama. Jadi, semua hambatan yang terpasang pada rangkaian tersebut dialiri arus listrik yang besarnya sama. Bila salah satu hambatan ada yang putus, maka arus listrik pada rangkaian tersebut juga putus/tidak mengalir.



Gambar 3.14 Rangkaian hambatan seri (a) Lampu disusun seri (b) Simbol rangkaian (c) Hambatan pengganti

Pada Gambar 3.14, terlihat dua buah lampu (sebagai hambatan) yang disusun seri. Kuat arus yang mengalir melalui kedua lampu tersebut sama besarnya, sedangkan tegangannya berbeda ($V_{AB} \neq V_{BC}$). Dengan menggunakan hukum Ohm dapat Anda tuliskan secara matematis sebagai berikut.

Jika $V_{AB} = I \times R_1$, $V_{BC} = I \times R_2$, $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$; maka:

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

$$V_{AC} = I \times R_1 + I \times R_2$$

$$V_{AC} = I (R_1 + R_2)$$

Jika Anda ganti kedua hambatan yang dirangkai seri dengan sebuah hambatan pengganti (R_s) lihat Gambar 3.14 (c), maka $V_{AC} = I \times R_s$, sehingga Anda dapatkan persamaan sebagai berikut. Jika Anda ganti kedua hambatan yang dirangkai seri dengan sebuah hambatan pengganti (R_s) lihat Gambar 3.14 (c), maka $V_{AC} = I \times R_s$, sehingga Anda dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$V_{AC} = I(R_1 + R_2)$$

$$I \times R_s = I(R_1 + R_2)$$

$$R_s = R_1 + R_2$$

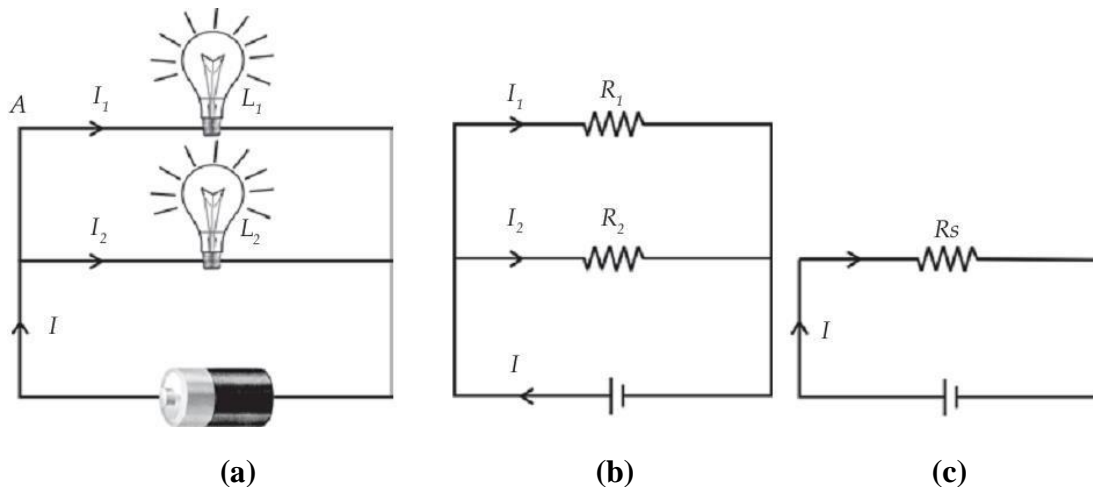
Jadi, bentuk umum hambatan pengganti yang dirangkai seri adalah sebagai berikut.

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \text{ (n = banyaknya hambatan)}$$

Hambatan pengganti pada kedua rangkaian ini selalu lebih besar karena merupakan jumlah dari hambatan-hambatan yang dipasang.

4.9.2 Rangkaian Hambatan Paralel

Hambatan paralel adalah rangkaian yang disusun secara berdampingan/berjajar. Jika hambatan yang dirangkai paralel dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, maka tegangan pada ujung-ujung tiap hambatan adalah sama. Sesuai dengan Hukum I Kirchoff, jumlah kuat arus yang mengalir pada masing-masing hambatan sama dengan kuat arus yang mengalir pada penghantar utama.



Gambar 3.15 Rangkaian hambatan parallel (a) Lampu disusun paralel (b) Simbol rangkaian (c) Hambatan pengganti.

Pada Gambar 3.15, dua buah lampu (sebagai hambatan) dirangkai paralel. Kuat arus yang mengalir pada lampu 1 (I_1) dan lampu 2 (I_2) besarnya tergantung nilai hambatannya, sedangkan tegangan yang melewati kedua lampu tersebut besarnya sama. Dengan menggunakan hukum I Kirchoff dan hukum Ohm, maka dapat Anda tuliskan secara matematis sebagai berikut.

$$\text{Jika } I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, \text{ dan } I = I_1 + I_2; \text{ maka:}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Jika Anda ganti kedua hambatan yang dirangkai paralel dengan sebuah hambatan pengganti (R_p), lihat Gambar 3.15 (c), maka $I = \frac{V}{R_p}$, sehingga Anda

dapatkan persamaan sebagai berikut.

$$I = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{V}{R_p} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$V \left(\frac{1}{R_p} \right) = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\left(\frac{1}{R_p} \right) = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Jadi, bentuk umum hambatan yang dirangkai paralel adalah :

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right), (n = \text{Jumlah hambatan}).$$

$$R_p = \frac{\text{Perkalian}}{\text{Penjumlahan}}$$

$$= \frac{R_1 \times R_2 \times R_3 \dots R_n}{(R_1 \times R_2) + (R_1 \times R_3) + (R_2 \times R_3) + \dots (R_{n-1} \times R_n)}$$

Hambatan pengganti pada rangkaian paralel selalu lebih kecil karena merupakan jumlah dari kebalikan hambatan tiap-tiap komponen.

Contoh :

Tiga buah hambatan, masing-masing nilainya 3 Ω , 4 Ω , dan 6 Ω : dirangkai secara paralel. Hitunglah hambatan penggantinya!

Diketahui :

$$\text{a. } R_1 = 3 ; \text{ b. } R_2 = 4 ; \text{ c. } R_3 = 6$$

Ditanyakan: $R_p = \dots ?$

Jawab :

Cara I :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{9}{12} \text{ dan nilai } R_p = \frac{4}{3} \Omega$$

Cara II:

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{(R_1 \times R_2) + (R_1 \times R_3) + (R_2 \times R_3)} = \frac{3 \times 4 \times 6}{(3 \times 4) + (3 \times 6) + (4 \times 6)}$$

$$= \frac{72}{(12) + (18) + (24)} = \frac{72}{54} = \frac{4}{3} \Omega.$$

3.10 Daya Listrik dalam Kehidupan Sehari-Hari

Bila Anda perhatikan sebuah setrika listrik yang dihubungkan dengan sumber tegangan listrik, maka tidak berapa lama akan menjadi panas. Hal ini terjadi karena adanya usaha untuk memindahkan muatan listrik setiap saat pada rangkaian listrik yang besarnya sama dengan energi listrik yang diubah menjadi energi kalor. Besarnya energi setiap satuan waktu disebut daya listrik. Secara matematis daya listrik dapat di tulis sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t}$$

Jika $W = V \times I \times t$, maka persamaan di atas dapat ditulis

$$P = V \times I$$

Menurut Hukum Ohm persamaan daya dapat ditulis:

$$P = I^2 \times R \text{ atau } P = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

P : daya listrik (W)

W : energi listrik (J)

V : tegangan listrik (V)

I : kuat arus listrik (A)

R : hambatan listrik (Ω)

Pemasangan alat listrik di rumah-rumah dirangkai secara paralel. Hal ini diharapkan agar tegangan yang melalui alat-alat tersebut besarnya sama. Untuk menghitung besar energi listrik yang digunakan pada suatu rumah, PLN memasang alat yang disebut kWh (kilowatt hours) meter (meteran listrik). 1 kWh didefinisikan sebagai daya sebesar 1.000 watt yang digunakan selama 1 jam. Jadi, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

Energi yang digunakan (kWh) = daya (kW) \times waktu (jam)

Sedangkan biaya yang harus dibayar adalah sebagai berikut.

Biaya = jumlah energi yang digunakan \times biaya per kWh

Biasanya, selain biaya energi yang terpakai, para pelanggan listrik harus membayar biaya beban, materai, dan pajak.

Contoh:

Diketahui harga listrik Rp100,00 per kWh. Sebuah rumah memakai 5 lampu dengan daya masing-masing 60 watt, sebuah kulkas 160 watt, sebuah televisi 80 watt, dan 3 lampu dengan daya 40 watt. Jika semua alat listrik itu menyala rata-rata 12 jam per hari, maka berapa besar biaya listrik dalam sebulan?

Diketahui :

5 lampu \times 60 watt = 300 watt, 1 kulkas \times 160 watt = 160 watt

1 televisi \times 80 watt = 80 watt, 3 lampu \times 40 watt = 120 watt

Jumlah = 660 watt

Ditanyakan: biaya per bulan= ?

Jawab :

Pemakaian rata-rata 12 jam, maka dalam 1 bulan (30 hari) pemakaian energi listriknya adalah:


$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ &= 660 \times (12 \times 30) = 660 \times 360 = 237.600 \text{ watt-jam} \\ &= 237,6 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

Jadi, biaya yang harus dikeluarkan adalah $237,6 \times 100 = \text{Rp}23.760,00$.

3.11 Rangkaian Arus Bolak – Balik

Dalam kehidupan sehari-hari kita jumpai alat-alat seperti dinamo sepeda dan generator. Kedua alat tersebut merupakan sumber arus dan tegangan listrik bolak-balik. Arus bolak-balik atau alternating current (AC) adalah arus dan tegangan listrik yang besarnya berubah terhadap waktu dan dapat mengalir dalam dua arah. Arus bolak-balik (AC) digunakan secara luas untuk penerangan maupun peralatan elektronik. Dalam bab ini kita akan membahas mengenai hambatan, induktor, dan kapasitor dalam rangkaian arus bolak-balik.

Sumber arus bolak-balik adalah generator arus bolak-balik yang prinsip kerjanya pada perputaran kumparan dengan kecepatan sudut ω yang berada di dalam medan magnetik. Sumber ggl bolak-balik tersebut akan menghasilkan tegangan sinusoida berfrekuensi f . Dalam suatu rangkaian listrik, simbol untuk

sebuah sumber tegangan gerak elektrik bolak-balik adalah 

Tegangan sinusoida dapat dituliskan dalam bentuk persamaan tegangan sebagai fungsi waktu, yaitu:

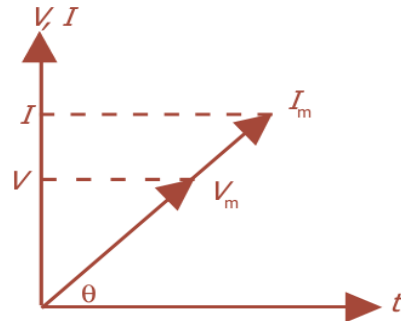
$$V = V_m \cdot \sin \pi \cdot f \cdot t \dots\dots\dots (3. 1)$$

Tegangan yang dihasilkan oleh suatu generator listrik berbentuk sinusoida. Dengan demikian, arus yang dihasilkan juga sinusoida yang mengikuti persamaan:

$$I = I_m \cdot \sin \pi \cdot f \cdot t \dots\dots\dots (3. 2)$$

dengan I_m adalah arus puncak dan t adalah waktu. Untuk menyatakan perubahan yang dialami arus dan tegangan secara sinusoida, dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah diagram vektor yang berotasi, yang disebut diagram fasor.

Istilah fasor menyatakan vector berputar yang mewakili besaran yang berubah-ubah secara sinusoida. Panjang vektor menunjukkan amplitude besaran, dan vektor ini dibayangkan berputar dengan kecepatan sudut yang besarnya sama dengan frekuensi sudut besaran. Sehingga, nilai sesaat besaran ditunjukkan oleh proyeksinya pada sumbu tetap. Cara ini baik sekali untuk menunjukkan sudut fase antara dua besaran. Sudut fase ini ditampilkan pada sebuah diagram sebagai sudut antara fasor-fasornya.



Gambar 3.16 Diagram fasor arus dan tegangan berfase sama.

Gambar 3.16 memperlihatkan diagram fasor untuk arus sinusoida dan tegangan sinusoida yang berfase sama yang dirumuskan pada persamaan (3.1) dan (3.2). Diketahui bahwa:

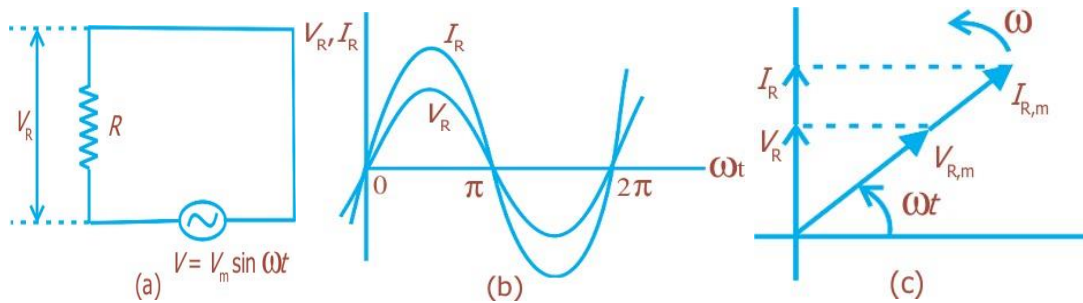
$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad \text{.....(3.3)}$$

yang menyatakan akar kuadrat rata-rata tegangan. Dan akar kuadrat rata-rata arus, yang dirumuskan:

$$I_{rms} = \frac{I}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (3.4)}$$

Nilai rms dari arus dan tegangan tersebut kadang-kadang disebut sebagai “nilai efektif”.

3.11.1 Rangkaian Resistor AC



Gambar 3.17 (a) Rangkaian AC dengan sebuah resistor (b) Arus berfase sama dengan tegangan (c) Diagram fasor arus dan tegangan.

Gambar 3.17 (a) memperlihatkan sebuah rangkaian yang hanya memiliki sebuah elemen penghambat dan generator arus bolak-balik. Karena kuat arusnya nol pada saat tegangannya nol, dan arus mencapai puncak ketika tegangan juga mencapainya, dapat dikatakan bahwa arus dan tegangan sefase (Gambar 3.17 (b)). Sementara itu, Gambar 3.17 (c) memperlihatkan diagram fasor arus dan tegangan yang sefase. Tanda panah pada sumbu vertical adalah nilai-nilai sesaat. Pada rangkaian resistor berlaku hubungan:

$$V_R = V_m \cdot \sin 2\pi \cdot f \cdot t$$

$$V_R = V_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (3.5)$$

Jadi,

$$I_R = \frac{V_R}{R}$$

$$= \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$

$$I_R = I_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (3.6)$$

Sehingga, pada rangkaian resistor juga akan berlaku hubungan sebagai berikut:

$$V_m = I_m \cdot R \dots \dots \dots (3.7)$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot R \dots \dots \dots (3.8)$$

Contoh:

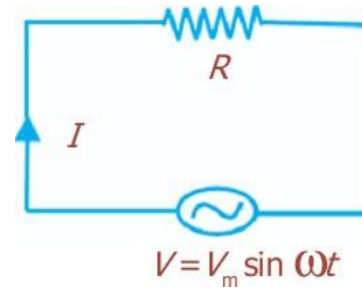
Dalam rangkaian AC seperti yang diperlihatkan pada gambar, $R = 40 \, \Omega$, $V_m = 100 \, \text{V}$, dan frekuensi generator $f = 50 \, \text{Hz}$. Dianggap tegangan pada ujung-ujung resistor $V_R = 0$ ketika $t = 0$. Tentukan:

a. arus maksimum,

b. frekuensi sudut generator,

c. arus melalui resistor pada $t = \frac{1}{75} \, \text{s}$

d. arus melalui resistor pada $t = \frac{1}{50} \, \text{s}$



Penyelesaian:

a. Rangkaian resistor murni, I_m dapat dicari dengan persamaan:

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{100}{40} = 2,5 \, \text{A}$$

b. Frekuensi sudut anguler (ω)

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 100 \pi$$

c. Untuk rangkaian resistor murni, tegangan sefase dengan arus, sehingga untuk

$$V = V_m \cdot \sin \pi \cdot f \cdot t \text{ maka } I = I_m \cdot \sin \pi \cdot f \cdot t$$

$$I_{(t)} = I_m \cdot \sin \omega t = 2,5 \sin \omega t$$

$$I = (2,5) \sin 100 \pi \left(\frac{1}{75} \right) = (2,5) \sin \frac{4}{3} \pi$$

Dimana,

$$\sin \frac{4}{3} \pi = \sin \left(\pi + \frac{1}{3} \pi \right) \text{ kuadran III}$$

$$= -\sin \frac{1}{3} \pi$$

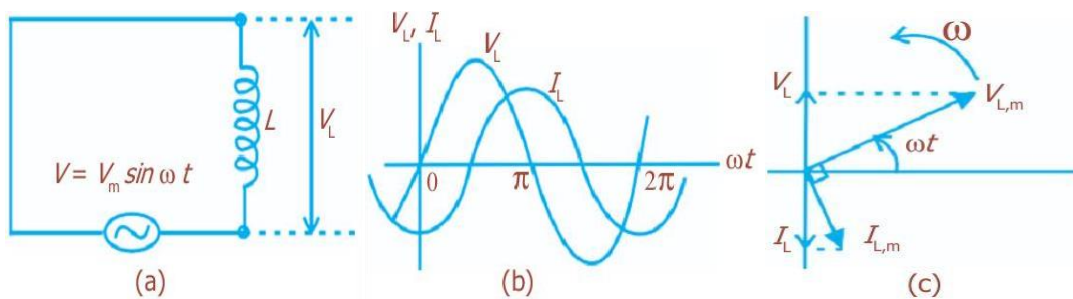
$$= -\sin 60^\circ = -\frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned}
 I &= (2,5) \sin 100 \pi \left(\frac{1}{75} \right) = (2,5) \sin \frac{4}{3} \pi \\
 &= 2,5 \left(-\frac{1}{2} \sqrt{3} \right) \\
 I &= \left(-\frac{5}{4} \sqrt{3} \right) \text{ A}
 \end{aligned}$$

d. arus melalui resistor pada $t = \frac{1}{50} \text{ s}$

$$\begin{aligned}
 I_{\left(\frac{1}{150} \text{ s}\right)} &= (2,5) \sin 100 \pi \left(\frac{1}{150} \right) \\
 &= 2,5 \left(\sin \frac{2}{3} \pi \right) \\
 \sin \frac{2}{3} \pi &= \sin \left(\pi - \frac{1}{3} \pi \right) \text{ kuadran III} \\
 \sin \frac{1}{3} \pi &= \sin 60^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{3} \\
 &= 2,5 \left(\sin \frac{2}{3} \pi \right) \\
 &= 2,5 \left(\frac{1}{2} \sqrt{3} \right) \\
 I &= \frac{5}{4} \sqrt{3} \text{ A}
 \end{aligned}$$

3.11.2 Rangkaian Induktor AC



Gambar 3.18 (a) Rangkaian AC dengan sebuah induktor (b) Arus berbeda fase dengan tegangan (c) Diagram fasor arus dan tegangan yang berbeda fase.

Gambar 3.18 (a) memperlihatkan sebuah rangkaian yang hanya mengandung sebuah elemen induktif. Pada rangkaian induktif, berlaku hubungan:

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} \dots\dots\dots (3. 9)$$

$$V = V_m \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots (3. 10)$$

Tegangan pada induktor V_L setara dengan tegangan sumber V , jadi dari persamaan (3.9) dan (3.10) akan diperoleh:

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$dI_L = \int \frac{V_m}{L} \sin \omega t dt$$

$$dI_L = -\frac{V_m}{\omega} \cos \omega t \dots\dots\dots (3. 11)$$

Diketahui bahwa:

$$\cos \omega t = \sin \left(\frac{\pi}{2} - \omega t \right) = - \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Maka

$$I_L = \frac{V_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (3. 12)$$

Jika $\omega L = 2 \pi f \cdot L$ didefinisikan sebagai reaktansi induktif (X_L), maka dalam suatu rangkaian induktif berlaku hubungan sebagai berikut:

$$V_m = X_L \cdot I_m \dots\dots\dots (3. 13)$$

$$V_{ef} = X_L \cdot I_{ef} \dots\dots\dots (3. 14)$$

Perbandingan persamaan (3.10) dan (3.12) memperlihatkan bahwa nilai V_L dan I_L yang berubah-ubah terhadap waktu mempunyai perbedaan fase sebesar seperempat siklus. Hal ini terlihat pada Gambar 3.18 (b), yang merupakan grafik dari persamaan (3.10) dan (3.12). Dari gambar terlihat bahwa V_L mendahului I_L , yaitu dengan berlalunya waktu, maka V_L mencapai maksimumnya sebelum I_L mencapai maksimum, selama seperempat siklus. Sementara itu, pada Gambar 3.18 (c), pada waktu fasor berotasi di dalam arah yang berlawanan dengan arah perputaran jarum jam, maka terlihat jelas bahwa fasor $V_{L,m}$ mendahului fasor $I_{L,m}$ selama seperempat siklus.

Contoh:

Sebuah induktor 0,2 henry dipasang pada sumber tegangan arus bolak-balik, $V = (200 \sin 200t)$ volt. Tentukan persamaan arus yang mengalir pada rangkaian tersebut!

Diketahui:

$$V = (200 \sin 200t) \text{ volt}$$

$$L = 0,2 \text{ H}$$

Ditanya: $I = \dots ?$

Jawab:

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$V = 200 \sin 200t$$

Dari persamaan diketahui $V_m = 200$ volt dan $\omega = 200$ rad/s, maka:

$$X_L = \omega \cdot L = (200)(0,2)$$

$$X_L = 40 \Omega$$

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{200}{40}$$

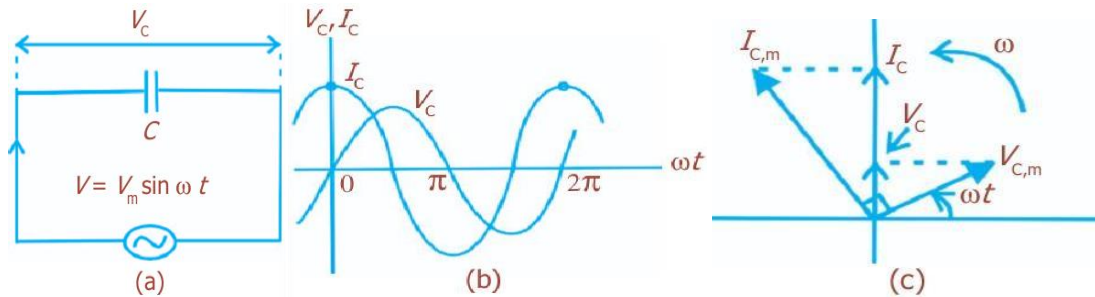
$$I_m = 5 \text{ A}$$

Dalam rangkaian ini arus tertinggal $\frac{\pi}{2}$ rad terhadap tegangan, sehingga:

$$I = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$I = 5 \sin \left(200t - \frac{\pi}{2} \right) \text{ ampere}$$

3.11.3 Rangkaian Kapasitor AC



Gambar 3.19 (a) Rangkaian AC dengan sebuah kapasitor (b) Perbedaan potensial melalui kapasitor terhadap arus (c) Diagram fasor rangkaian kapasitif.

Gambar 3.19 memperlihatkan sebuah rangkaian yang hanya terdiri atas sebuah elemen kapasitif dan generator AC. Pada rangkaian tersebut berlaku hubungan:

$$V_c = V = V_m \sin \omega t \dots \dots \dots (3.15)$$

Dari definisi C diperoleh hubungan bahwa $VC = Q/C$, maka akan diperoleh:

$$Q = C \cdot V_m \sin \omega t$$

atau

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = \omega \cdot C \cdot V_m \cos \omega t \dots \dots \dots (3.16)$$

Diketahui bahwa $\cos \omega t = \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$, maka akan diperoleh:

$$I_c = \omega \cdot C \cdot V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_{C,m} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots \dots \dots (3.17)$$

Jika didefinisikan sebuah reaktansi kapasitif (X_C), adalah setara dengan $\frac{1}{\omega C}$ atau

$\frac{1}{2\pi fC}$ maka dalam sebuah rangkaian kapasitif akan berlaku hubungan sebagai

berikut:

$$V_m = X_C \cdot I_{C,m} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$V_{ef} = X_C \cdot I_{ef} \dots \dots \dots (3.19)$$

Persamaan (3.15) dan (3.16) menunjukkan bahwa nilai V_c dan I_c yang berubah-ubah terhadap waktu adalah berbeda fase sebesar seperempat siklus. Hal ini

dapat terlihat pada Gambar 3.19 (b), yaitu V_C mencapai maksimum-nya setelah I_C mencapai maksimum, selama seperempat siklus. Hal serupa juga diperlihatkan pada Gambar 3.19 (c), yaitu sewaktu fasor berotasi di dalam arah yang dianggap berlawanan dengan arah perputaran jarum jam, maka terlihat jelas bahwa fasor $V_{C,m}$ tertinggal terhadap fasor $I_{C,m}$ selama seperempat siklus.

Contoh:

Sebuah kapasitor 50 μF dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik. Arus yang mengalir pada rangkaian adalah $I = (4.\sin 100t)$ A. Tentukan persamaan tegangan pada kapasitor itu!

Diketahui:

$$C = 50 \mu\text{F} = 5 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$I = (4.\sin 100t) \text{ A}$$

Ditanya: Persamaan tegangan, $V = \dots$?

Jawab:

$$I = (I_m.\sin \omega t) \text{ A}$$

$$I = (4.\sin 100t) \text{ A}$$

Maka, $I_m = 4 \text{ A}$, dan $\omega = 100 \text{ rad/s}$

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(100)(5 \times 10^{-5})} = \frac{1}{5 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{10^3}{5} = 200 \Omega \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas diperoleh:

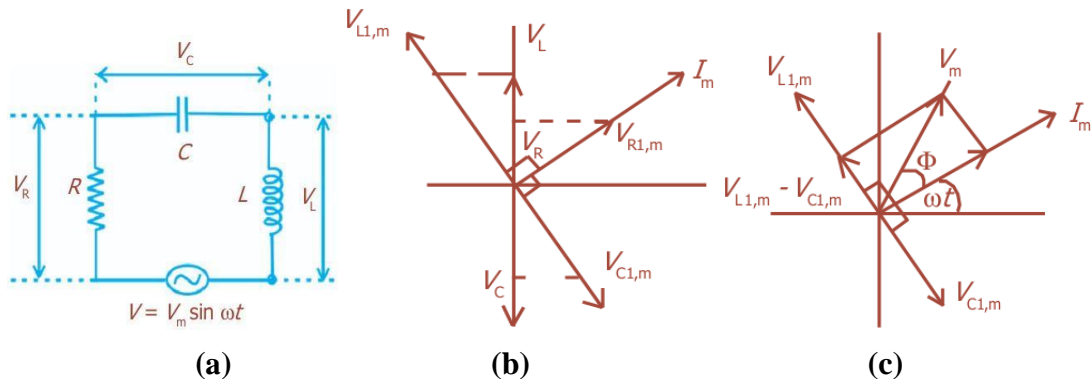
$$I_m = \frac{V_m}{X_C}, \text{ maka:}$$

$$\begin{aligned} V_m &= I_m \cdot X_C \\ &= (4 \text{ A})(200 \Omega) \\ &= 800 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= V_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \\ &= 800 \cdot \sin\left(100t - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

3.11.4 Rangkaian Seri RLC

Pada bagian sebelumnya telah dibahas mengenai rangkaian-rangkaian R, C, dan L yang dihubungkan terpisah. Maka pada bagian ini kita akan membahas sebuah rangkaian seri yang di dalamnya terdapat ketiga elemen tersebut, yang sering disebut rangkaian seri RLC, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.7 (a).



Gambar 3.20 (a) Rangkaian AC dengan sebuah kapasitor (b) Perbedaan potensial melalui kapasitor terhadap arus (c) Diagram fasor rangkaian kapasitif.

Berdasarkan persamaan (3.1), tegangan gerak elektrik untuk Gambar 3.20 (a) diberikan oleh persamaan:

$$V = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (3.20)$$

Arus (tunggal) di dalam rangkaian tersebut adalah:

$$I = I_m \sin (\omega t - \phi) \dots\dots\dots (3.21)$$

Dengan ω adalah frekuensi sudut tegangan gerak elektrik bolak-balik pada persamaan (3.20). I_m adalah amplitude arus dan ϕ menyatakan sudut fase di antara arus bolak-balik pada persamaan (3.21) dan tegangan gerak elektrik pada persamaan (3.20). Pada Gambar 3.20 (a) tersebut akan berlaku persamaan:

$$V = V_R + V_C + V_L \dots\dots\dots (4.22)$$

Setiap parameter merupakan kuantitas-kuantitas yang berubah-ubah terhadap waktu secara sinusoida. Diagram fasor yang diperlihatkan pada Gambar 3.20 (b) menunjukkan nilai-nilai maksimum dari I , V_R , V_C , dan V_L . Proyeksi-proyeksi fasor pada sumbu vertikal adalah sama dengan V , seperti yang dinyatakan pada persamaan (3.22).

Sebaliknya, dinyatakan bahwa jumlah vektor dari amplitudo-amplitudo fasor $V_{R,m}$, $V_{C,m}$, dan $V_{L,m}$ menghasilkan sebuah fasor yang amplitudonya adalah V pada persamaan (3.20). Proyeksi V_m pada sumbu vertikal, merupakan V dari persamaan (3.20) yang berubah terhadap waktu. Kita dapat menentukan V_m pada Gambar 3.20 (c), yang di dalamnya telah terbentuk fasor $V_{L,m} - V_{C,m}$. Fasor tersebut tegak lurus pada $V_{R,m}$, sehingga akan diperoleh:

$$\begin{aligned} V_m &= \sqrt{V_{R,m}^2 + (V_{L,m} - V_{C,m})^2} \\ &= \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2} \\ V_m &= I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (3.23) \end{aligned}$$

Kuantitas yang mengalikan I_m disebut **impedansi (Z)** rangkaian pada Gambar 3.20 (a) . Jadi, dapat dituliskan:

$$V_m = Z \cdot I_m \dots\dots\dots (3.24)$$

Diketahui bahwa $X_L = \omega L$ dan $X_C = \frac{1}{\omega C}$. Maka dari persamaan (3.23) dan (3.24) akan diperoleh:

$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \dots\dots\dots (3.25)$$

Untuk menentukan sudut fase ϕ di antara I dan V , dapat dilakukan dengan membandingkan persamaan (3.20) dan (3.21). Dari Gambar 3.20 (a) dapat kita tentukan bahwa sudut ϕ dinyatakan:

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{V_{L,m} - V_{C,m}}{V_{R,m}} = \frac{I_m (X_L - X_C)}{I_m R} \\ \tan \phi &= \frac{X_L - X_C}{R} \dots\dots\dots (3.26) \end{aligned}$$

Pada Gambar 3.20 (c) menunjukkan nilai $X_L > X_C$, yaitu bahwa rangkaian seri dari Gambar 3.20 (a) lebih bersifat induktif daripada bersifat kapasitif. Pada keadaan ini V_m mendahului I_m (walaupun tidak sebanyak seperempat siklus seperti pada

rangkaian induktif murni) dari Gambar 3.18 (a). Sudut fase ϕ pada persamaan (3.26) adalah positif.

Tetapi, jika $X_C > X_L$, maka rangkaian tersebut akan lebih bersifat kapasitif daripada bersifat induktif, dan V_m akan tertinggal terhadap I_m (walaupun tidak sebanyak seperempat siklus seperti pada rangkaian kapasitif murni). Berdasarkan perubahan ini, maka sudut ϕ pada persamaan (3.26) akan menjadi negatif.

Rangkaian seri RLC, dengan masing-masing $R = 30 \Omega$, $L = 0,6 \text{ H}$, dan $C = 500 \mu\text{F}$ dipasang pada sumber tegangan bolak-balik dengan $V = (200 \sin 100t) \text{ volt}$. Tentukan:

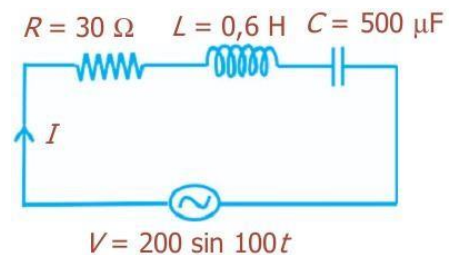
- impedansi rangkaian,
- persamaan arus pada rangkaian!

Diketahui:

Rangkaian seri RLC

$$R = 30 \Omega, L = 0,6 \text{ H}, C = 500 \mu\text{F} = 5 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$V = (200 \sin 100t) \text{ volt}$$



Jawab:

- Impedansi rangkaian

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$V_m = 200$$

$$V = (200 \sin 100t) \text{ volt}$$

$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

$$X_L = \omega L = (100)(0,6) = 60 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$= \frac{1}{(100)(5 \times 10^{-4})}$$

$$= \frac{1}{5 \times 10^{-2}}$$

$$= \frac{100}{5} = 20 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{30^2 + (60 - 20)^2}$$

$$= 50 \Omega$$

b. Persamaan arus pada rangkaian!

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}$$

$X_L > X_C$, rangkaian bersifat induktif atau tegangan mendahului arus dan beda fase 0.

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{X_L - X_C}{R} \\ &= \frac{60 - 20}{30} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3} \end{aligned}$$

$$\phi = 53^\circ = \frac{53^\circ}{180} \pi \text{ rad}$$

$$I = I_m \cdot \sin(\omega t - \phi)$$

$$I = 4 \cdot \sin\left(100t - \frac{53}{180} \pi\right)$$

3.11.5 Daya Pada Rangkaian Arus Bolak – Balik

Daya sesaat pada sebuah rangkaian seperti yang terlihat pada rangkaian seri RLC seperti ditunjukkan Gambar 3.20 (a) dirumuskan:

$$\begin{aligned} P_{(t)} &= V_{(t)} \times I_{(t)} \\ &= (V_m \cdot \sin \omega t) (I_m \cdot \sin (\omega t - \phi)) \dots \dots \dots (3. 27) \end{aligned}$$

Jika kita mengekspansikan faktor $\sin(\omega t - \phi)$ menurut sebuah identitas trigonometri, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} P_{(t)} &= (V_m I_m) (\sin \omega t) (\sin \omega t \cos \phi - \cos \omega t \sin \phi) \\ &= V_m I_m \sin^2 \omega t \cos \phi - V_m I_m \sin \omega t \cos \omega t \sin \phi \dots \dots \dots (3. 28) \end{aligned}$$

Nilai $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}$ dan $\sin \omega t \cos \omega t = 0$, maka dari persamaan (3.28) kita dapat

mencari $P_{(t)} = P_{av}$ yaitu:

$$P_{av} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi + 0 \dots \dots \dots (3. 29)$$

Diketahui $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ dan $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ maka persamaan 3.29 menjadi.

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \dots \dots \dots (3. 30)$$

Dengan $\cos \phi$ menyatakan faktor daya. Untuk kasus seperti pada Gambar 3.17 (a), memperlihatkan sebuah beban hambatan murni, dengan $\phi = 0$, sehingga persamaan (3.30) menjadi:

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \dots\dots\dots (3.31)$$

Sumber tegangan bolak-balik dengan $V = (100 \sin 1.000t)$ volt, dihubungkan dengan rangkaian seri RLC seperti gambar. Bila $R = 400 \, \Omega$, $C = 5 \, \mu\text{F}$, dan $L = 0,5 \, \text{H}$, tentukan daya pada rangkaian!

Diketahui:

$$V = (100 \sin 1000t) \text{ volt}$$

$$R = 400 \, \Omega$$

$$C = 5 \, \mu\text{F} = 5 \times 10^{-6} \, \text{F}$$

$$L = 0,5 \, \text{H}$$

Ditanya: $P = \dots\dots?$

Menentukan impedansi rangkaian. Persamaan umum

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$V = (100 \sin 1000t) \text{ volt}$$

maka, $V_m = 100$ volt dan $\omega = 1.000 \text{ rad/s}$.

$$\begin{aligned} X_L &= \omega \cdot L \\ &= (1.000 \text{ rad/s})(0,5 \, \text{H}) = 500 \, \Omega \end{aligned}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{(1.000)(5 \times 10^{-6})} = \frac{1}{5 \times 10^{-3}} = \frac{10^3}{5}$$

$$X_C = 200 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\ &= \sqrt{400^2 + (500 - 200)^2} \\ &= \sqrt{160.000 + 90.000} \\ &= \sqrt{250.000} \end{aligned}$$

$$Z = 500 \, \Omega$$

$$\text{Kuat arus, } I = \frac{V_m}{Z} = \frac{100}{500} = 0,2 \, \text{A}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya, } \phi &= \frac{400}{500} = 0,8 \\ \phi &= 37^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dayanya, } P &= V_m \cdot I_m \cdot \cos \phi \\ &= (100)(0,2)(0,8) \\ &= 16 \text{ watt} \end{aligned}$$

Rangkuman 3

1. Aliran arus listrik ditimbulkan oleh aliran elektron.
2. Arah aliran arus listrik berlawanan dengan arah aliran elektron.
3. Aliran arus listrik dapat terjadi jika ada beda potensial.
4. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah, dan elektron mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi.
5. Kuat arus listrik adalah banyaknya muatan yang melalui penampang suatu penghantar setiap satuan waktu.
6. Untuk mengukur kuat arus listrik digunakan amperemeter yang disusun secara seri dengan komponen-komponen listrik.
7. Sumber tegangan listrik adalah segala sesuatu yang dapat menyebabkan terjadinya arus listrik.
8. Sumber tegangan dibedakan menjadi dua, yaitu sumber tegangan primer dan sumber tegangan sekunder.
9. Persamaan hukum Ohm adalah $V = I \times R$.
10. Pada rangkaian listrik tak bercabang, kuat arus pada setiap titik adalah sama.
11. Hukum I Kirchhoff adalah jumlah kuat arus yang masuk pada setiap titik cabang sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik tersebut ($I_{\text{masuk}} = I_{\text{keluar}}$).
12. Hukum II Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah perubahan potensial yang mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus sama dengan nol.
13. Pada rangkaian hambatan seri, hambatan penggantinya makin besar, sedangkan pada rangkaian hambatan paralel, hambatan penggantinya makin kecil.
14. Tarif listrik ditentukan oleh banyaknya energi listrik yang digunakan, yang dapat dibaca pada kWh meter pada setiap rumah.
15. Arus bolak-balik adalah arus yang arahnya dalam rangkaian berubah-ubah dengan selang yang teratur, yang ditimbulkan oleh gaya gerak listrik yang berubah-ubah.

16. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator AC berbentuk sinusoida, yang dinyatakan: $V = V_m \sin \omega t$ dan $I = I_m \sin \omega t$.
17. Fasor menyatakan vektor berputar yang mewakili besaran yang berubah-ubah secara sinusoida. Panjang vektor menunjukkan amplitudo besaran.
18. Pada rangkaian resistor berlaku hubungan: $V_m = I_m R$
19. Dalam rangkaian induktif berlaku hubungan: $V_m = I_m X_L$
20. Pada rangkaian kapasitor berlaku hubungan: $V_m = I_m X_C$
21. Rangkaian seri RLC mempunyai persamaan:

$$V_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Jika ϕ adalah beda sudut fase antara tegangan dan arus, maka: $\tan \phi = R$

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

22. Daya pada rangkaian AC didefinisikan dalam persamaan:

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \cos \phi$$

Diskusi Group 5

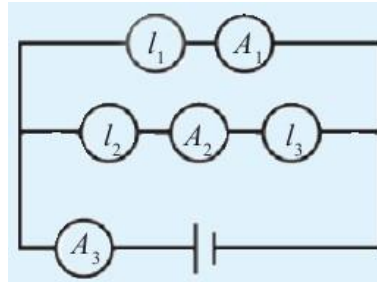
Diskusikan bersama teman Anda!

1. Jika pada rangkaian seri atau paralel ditambahkan lagi komponen listrik, bagaimana jumlah hambatan totalnya?
2. Yusi sedang memperbaiki radionya yang rusak. Ternyata kerusakannya terdapat pada resistor yang nilainya 6Ω , sehingga resistor tersebut harus diganti. Sementara itu, Yusi hanya mempunyai resistor yang nilainya 9Ω dan 18Ω . Apa yang harus dilakukan Yusi agar radionya berfungsi kembali!
3. Sebutkan dan jelaskan manfaat rangkaian seri dan paralel!
4. Amati meteran listrik dari beberapa rumah di lingkungan Anda (minimal 5 meteran listrik)! Catat penggunaan energi listrik dalam jangka waktu tiga bulan terakhir, dan tanyakan kepada pemiliknya berapa rekening listrik yang harus ia bayar pada bulan-bulan tersebut! Selidiki, mengapa biaya rekening listrik tiap rumah berbeda! Kemudian buatlah sebuah tulisan atau artikel atas penyelidikan Anda yang berisi

saran agar pemilik rumah bisa membayar rekening listrik lebih murah dari biasanya. Sertakan data dan analisis Anda agar tulisan Anda lebih menarik.

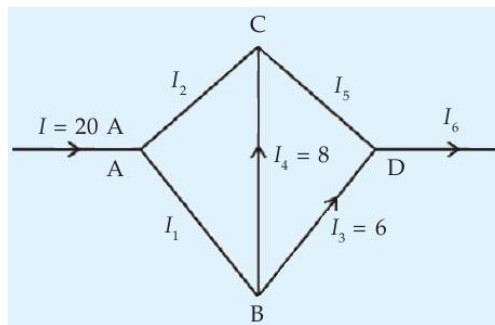
Latihan 3

1. Perhatikan rangkaian berikut:

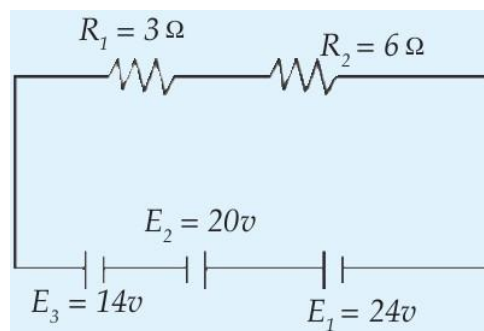


Jika lampu satu (L1), lampu dua (L2), dan lampu tiga (L3) memiliki hambatan yang sama (identik), maka amperemeter manakah yang menunjukkan skala tertinggi dan terendah?

2. Perhatikan gambar rangkaian berikut! Tentukan kuat arus yang mengalir pada I_1 , I_2 , I_3 , dan I_6 serta arahnya!



3. Berdasarkan Hukum II Kirchhoff, hitung kuat arus listrik pada rangkaian berikut!



4. Sebuah rangkaian seri terdiri atas sebuah resistor, sebuah kapasitor, dan sebuah induktor. Rangkaian tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan AC dengan frekuensi f . Jika tegangan efektif yang melintasi resistor, kapasitor, dan induktor masing-masing adalah 5 volt, 10 volt, dan 7 volt. Tentukan:
- a. tegangan sumber AC,
 - b. faktor daya!
5. Sebuah rangkaian seri yang terdiri atas resistor noninduktif $100\ \Omega$, sebuah kumparan dengan induktansi $0,10\text{ H}$ dan hambatan yang dapat diabaikan, dan kapasitor $20\ \mu\text{F}$, dihubungkan pada sumber daya $110\text{ V}/60\text{ Hz}$. Tentukan: (a) arus, (b) daya yang hilang, (c) sudut fase antara arus dan sumber tegangan, dan (d) pembacaan voltmeter pada ketiga elemen tersebut!

MODUL 4

BAB IV

RANGKAIAN LISTRIK

4.1 Definisi – Definisi

Rangkaian listrik adalah suatu kumpulan elemen atau komponen listrik yang saling dihubungkan dengan cara-cara tertentu dan paling sedikit mempunyai satu lintasan tertutup. Elemen atau komponen yang akan dibahas pada mata kuliah Rangkaian Listrik terbatas pada elemen atau komponen yang memiliki dua buah terminal atau kutub pada kedua ujungnya. Untuk elemen atau komponen yang lebih dari dua terminal dibahas pada mata kuliah Elektronika. Pembatasan elemen atau komponen listrik pada Rangkaian Listrik dapat dikelompokkan kedalam elemen atau komponen aktif dan pasif. Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi dalam hal ini adalah sumber tegangan dan sumber arus, mengenai sumber ini akan dijelaskan pada bab berikutnya. Elemen lain adalah elemen pasif dimana elemen ini tidak dapat menghasilkan energi, dapat dikelompokkan menjadi elemen yang hanya dapat menyerap energi dalam hal ini hanya terdapat pada komponen resistor atau banyak juga yang menyebutkan tahanan atau hambatan dengan simbol R , dan komponen pasif yang dapat menyimpan energi juga diklasifikasikan menjadi dua yaitu komponen atau elemen yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini induktor atau sering juga disebut sebagai lilitan, belitan atau kumparan dengan simbol L , dan komponen pasif yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini adalah kapasitor atau sering juga dikatakan dengan kondensator dengan simbol C , pembahasan mengenai ketiga komponen pasif tersebut nantinya akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

Berbicara mengenai Rangkaian Listrik, tentu tidak dapat dilepaskan dari pengertian dari rangkaian itu sendiri, dimana rangkaian adalah interkoneksi dari sekumpulan elemen atau komponen penyusunnya ditambah dengan rangkaian penghubungnya dimana disusun dengan cara-cara tertentu dan minimal memiliki satu lintasan tertutup. Dengan kata lain hanya dengan satu lintasan tertutup saja kita dapat menganalisis suatu rangkaian. Yang dimaksud dengan satu lintasan tertutup adalah satu lintasan saat kita mulai dari titik yang dimaksud akan kembali lagi ke titik

tersebut tanpa terputus dan tidak memandang seberapa jauh atau dekat lintasan yang kita tempuh. Rangkaian listrik merupakan dasar dari teori rangkaian pada teknik elektro yang menjadi dasar atau fundamental bagi ilmu-ilmu lainnya seperti elektronika, sistem daya, sistem computer, putaran mesin, dan teori control.

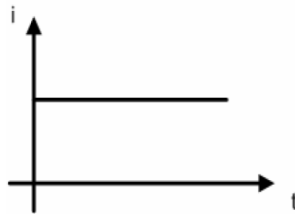
4.2 Arus Listrik Dalam Teori Rangkaian

Dalam teori rangkaian, arus merupakan pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial disuatu elemen atau komponen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya.

Macam-macam arus :

1. Arus searah (Direct Current/DC)

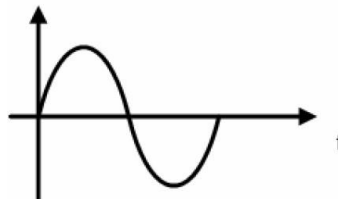
Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya dimana pun kita meninjau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan nilai yang sama seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Arus Searah

2. Arus bolak-balik (Alternating Current/AC)

Arus AC adalah arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk periode waktu tertentu (mempunyai periode waktu : T) yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

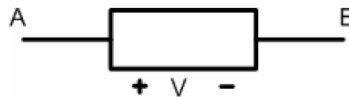


Gambar 4.2 Arus Bolak – Balik

4.3 Tegangan Dalam Teori Rangkaian

Tegangan atau seringkali orang menyebut dengan beda potensial dalam bahasa Inggris *voltage* adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu coulomb) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan/memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan. Secara matematis : $v = \frac{dw}{dq}$

Satuannya : Volt (V)



Gambar 4.3 Konsep Terminal Tegangan

Pada Gambar 4.3 diatas, jika terminal/kutub A mempunyai potensial lebih tinggi daripada potensial di terminal/kutub B. Maka ada dua istilah yang seringkali dipakai pada Rangkaian Listrik, yaitu :

1. Tegangan turun/ *voltage drop*

Jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah dalam hal ini dari terminal A ke terminal B.

2. Tegangan naik/ *voltage rise*

Jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi dalam hal ini dari terminal B ke terminal A.

Pada buku ini istilah yang akan dipakai adalah pengertian pada item nomor 1 yaitu tegangan turun. Maka jika beda potensial antara kedua titik tersebut adalah sebesar 5 Volt, maka $V_{AB} = 5$ Volt dan $V_{BA} = -5$ Volt.

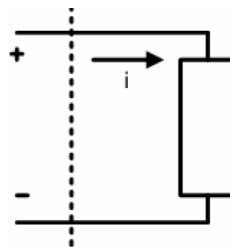
4.4 Energi Pada Elemen Listrik

Kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satu Newton sejauh satu meter. Jadi energy adalah sesuatu kerja dimana kita memindahkan sesuatu dengan mengeluarkan

gaya sebesar satu Newton dengan jarak tempuh atau sesuatu tersebut berpindah dengan selisih jarak satu meter. Pada alam akan berlaku hukum Kekekalan Energi dimana energi sebetulnya tidak dapat dihasilkan dan tidak dapat dihilangkan, energi hanya berpindah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Contohnya pada pembangkit listrik, energi dari air yang bergerak akan berpindah menjadi energi yang menghasilkan energi listrik, energi listrik akan berpindah menjadi energi cahaya jika energi listrik tersebut melewati suatu lampu, energi cahaya akan berpindah menjadi energi panas jika bola lampu tersebut pemakaianya lama, demikian seterusnya. Untuk menyatakan apakah energi dikirim atau diserap tidak hanya polaritas tegangan tetapi arah arus juga berpengaruh. Elemen/komponen listrik digolongkan menjadi :

1. Menyerap energy

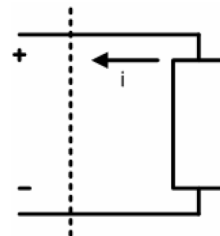
Jika arus positif meninggalkan terminal positif menuju terminal elemen/komponen, atau arus positif menuju terminal positif elemen/komponen tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Konsep elemen menyerap energi

2. Mengirim energy

Jika arus positif masuk terminal positif dari terminal elemen/komponen, atau arus positif meninggalkan terminal positif elemen/komponen.



Gambar 4.5 Konsep elemen mengirim energi

Energi yang diserap/dikirim pada suatu elemen yang bertegangan v dan muatan yang melewatinya Δq adalah $\Delta w = v\Delta q$. Satuannya : Joule (J)

4.5 Daya Secara Matematis

Rata-rata kerja yang dilakukan

$$\text{Daya secara matematis : } P = \frac{dw}{dq} \equiv \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} \equiv vi$$

Satuannya : Watt (W)

4.6 Analisis Rangkaian

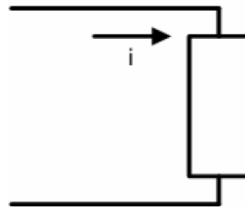
Mencari hubungan antara masukan dan keluaran pada rangkaian yang telah diketahui, misalkan mencari keluaran tegangan/ arus ataupun menentukan energi/ daya yang dikirim.

Ada 2 cabang utama dari teori rangkaian (input, rangkaian, output) :

1. Analisa rangkaian (rangkaian dan input untuk mencari output)
2. Sintesa rangkaian/ desain (input dan output untuk mencari rangkaian)

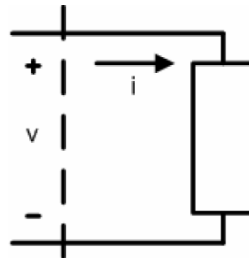
Contoh :

1. Jika arus 6 A, tentukan v jika elemen menyerap daya 18 W ?



Jawaban :

Menyerap daya jika arus positif meninggalkan terminal positif

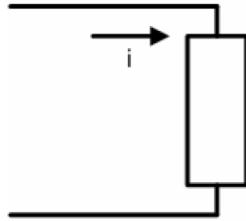


Arus positif karena dari potensial tinggi ke potensial rendah

$$i = 6 \text{ A dan } P = 18 \text{ W}$$

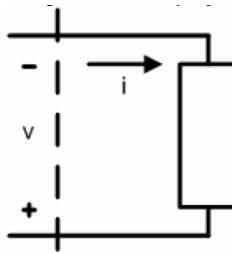
$$V = \frac{P}{i} = \frac{18}{6} \equiv 3 \text{ volt}$$

2. Jika arus 6 A, tentukan v jika elemen mengirimkan daya 18 W ?



Jawaban :

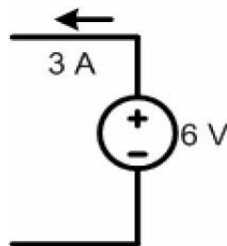
Mengirimkan daya jika arus positif masuk terminal positif



$$i = -6 \text{ A} \quad P = 18 \text{ W}$$

$$V = \frac{P}{i} = \frac{18}{-6} = -3 \text{ volt}$$

3. Tentukan daya pada rangkaian tersebut, apakah sumber tegangan mengirimkan atau menyerap daya !



Jawaban :

Arus positif karena dari potensial tinggi ke potensial rendah

$$i = 3 \text{ A dan } v = 6 \text{ V}$$

$$p = v \cdot i = 3 \cdot 6 = 18 \text{ W.}$$

Arus positif meninggalkan terminal positif sumber, sehingga sumber mengirimkan daya.

4.7 Elemen Rangkaian

Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa pada Rangkaian Listrik tidak dapat dipisahkan dari penyusunnya sendiri, yaitu berupa elemen atau komponen. Pada bab ini akan dibahas elemen atau komponen listrik aktif dan pasif.

4.7.1 Elemen Aktif

Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi, pada mata kuliah Rangkaian Listrik yang akan dibahas pada elemen aktif adalah sumber tegangan dan sumber arus. Pada pembahasan selanjutnya kita akan membicarakan semua yang berkaitan dengan elemen atau komponen ideal. Yang dimaksud dengan kondisi ideal disini adalah bahwa sesuatunya berdasarkan dari sifat karakteristik dari elemen atau komponen tersebut dan tidak terpengaruh oleh lingkungan luar. Jadi untuk elemen listrik seperti sumber tegangan, sumber arus, kompone R, L, dan C pada mata kuliah ini diasumsikan semuanya dalam kondisi ideal.

1. Sumber Tegangan (*Voltage Source*)

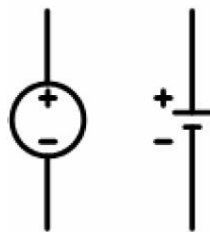
Sumber tegangan ideal adalah suatu sumber yang menghasilkan tegangan yang tetap, tidak tergantung pada arus yang mengalir pada sumber tersebut, meskipun tegangan tersebut merupakan fungsi dari t .

Sifat lain :

Mempunyai nilai resistansi dalam $R_d = 0$ (sumber tegangan ideal)

a. Sumber Tegangan Bebas/ *Independent Voltage Source*

Sumber yang menghasilkan tegangan tetap tetapi mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangannya tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya, artinya nilai tersebut berasal dari sumber tegangan dia sendiri. Simbol :



Gambar 4.6 Sumber Tegangan Bebas

b. Sumber Tegangan Tidak Bebas/ *Dependent Voltage Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangan bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol:



Gambar 4.7 Sumber Tegangan tak bebas

2. Sumber Arus (*Current Source*)

Sumber arus ideal adalah sumber yang menghasilkan arus yang tetap, tidak bergantung pada tegangan dari sumber arus tersebut. Sifat lain :

Mempunyai nilai resistansi dalam $R_d = \infty$ (sumber arus ideal)

a. Sumber Arus Bebas/ *Independent Current Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol.



Gambar 4.8 Simbol Arus Bebas

b. Sumber Arus Tidak Bebas/ *Dependent Current Source*

Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya. Simbol.



Gambar 4.9 Simbol arus tidak bebas

4.7.2 Elemen Pasif

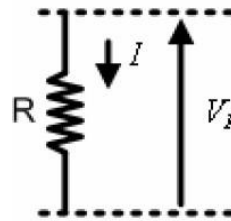
1. Resistor (R)

Sering juga disebut dengan tahanan, hambatan, penghantar, atau resistansi dimana resistor mempunyai fungsi sebagai penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri. Secara matematis :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Dimana; ρ = hambatan jenis
 l = panjang dari resistor
 A = luas penampang

Satuan dari resistor : Ohm (Ω)



Gambar 4.10 Simbol resistor dalam rangkaian

Jika suatu resistor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung dari resistor tersebut akan menimbulkan beda potensial atau tegangan. Hukum yang didapat dari percobaan ini adalah: Hukum Ohm. Mengenai pembahasan dari Hukum Ohm akan dibahas pada bab selanjutnya. $V_R = IR$

2. Kapasitor (C)

Sering juga disebut dengan kondensator atau kapasitansi. Mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai permitivitas bahan pembuat kapasitor, luas penampang dari kapasitor tersebut dan jarak antara dua keping penyusun dari kapasitor tersebut. Secara matematis :

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

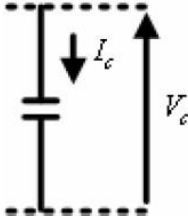
dimana : ϵ = permitivitas bahan

A = luas penampang bahan

d = jarak dua keeping

Satuan dari kapasitor : Farad (F)

Jika sebuah kapasitor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung kapaistor tersebut akan muncul beda potensial atau tegangan, dimana secara matematis dinyatakan :

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt}$$


Gambar 4.11 Simbol kapasitor dalam rangkaian

Penurunan rumus :

$$Q = CV$$

$$dq = Cdv$$

dimana

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$dq = i dt$$

Sehingga

$$Idt = Cdv$$

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Dari karakteristik v - i, dapat diturunkan sifat penyimpanan energi pada kapasitor.

$$p = \frac{dw}{dt}$$

$$dw = p \cdot dt$$

$$\int dw = \int p \cdot dt$$

$$w = \int p \cdot dt = \int v i \cdot dt = \int v C \frac{dv}{dt} dt = \int C v dv$$

Misalkan : pada saat $t = 0$ maka $v = 0$ dan pada saat $t = t$ maka $v = V$

Sehingga :

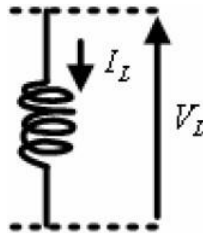
$$w = \int_0^V C v dv = \frac{1}{2} C V^2$$

Merupakan energi yang disimpan pada kapasitor dalam bentuk medan listrik. Jika kapasitor dipasang tegangan konstan/DC, maka arus sama dengan nol. Sehingga kapasitor bertindak sebagai rangkaian terbuka/ *open circuit* untuk tegangan DC.

3. Induktor/ Induktansi/ Lilitan/ Kumputan (L)

Seringkali disebut sebagai induktansi, lilitan, kumputan, atau belitan.

Pada induktor mempunyai sifat dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Satuan dari induktor : Henry (H)



Gambar 4.12 Simbol inductor dalam rangkaian

Arus yang mengalir pada induktor akan menghasilkan fluksi magnetik (ϕ) yang membentuk loop yang melingkupi kumputan. Jika ada N lilitan, maka total fluksi adalah :

$$\lambda = LI$$

$$L = \frac{\lambda}{I}$$

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

Dari karakteristik v-i, dapat diturunkan sifat penyimpanan energi pada induktor.

$$p = \frac{dw}{dt}$$

$$dw = p \cdot dt$$

$$\int dw = \int p \cdot dt$$

$$w = \int p \cdot dt = \int v \cdot i \cdot dt = \int L \frac{di}{dt} i \cdot dt = \int Li \cdot di$$

Misalkan : pada saat $t = 0$ maka $i = 0$ dan pada saat $t = t$ maka $i = I$

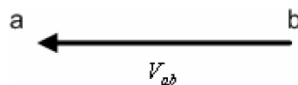
Sehingga

$$w = \int_0^I Li \cdot di = \frac{1}{2} LI^2$$

merupakan energi yang disimpan pada induktor L dalam bentuk medan magnet. Jika induktor dipasang arus konstan/DC, maka tegangan sama dengan nol. Sehingga induktor bertindak sebagai rangkaian hubung singkat/ *short circuit*.

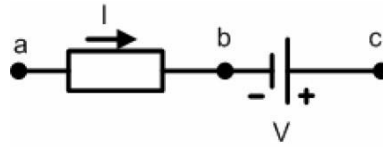
4.8 Hal-Hal Yang Perlu Diperhatikan dalam Analisa Rangkaian:

1. Tegangan antara 2 titik, a dan b digambarkan dengan satu anak panah seperti pada gambar dibawah ini :



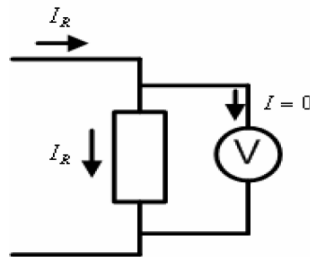
V_{ab} menunjukkan besar potensial relatif titik a terhadap titik b.

2. Tegangan yang dipakai pada buku ini adalah tegangan *drop*/ jatuh dimana akan bernilai positif, bila kita berjalan dari potensial tinggi ke potensial rendah. Contoh :



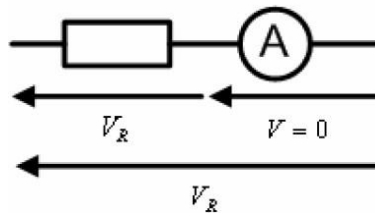
$$\text{Voltage drop : } V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} = IR - V$$

- Setiap arus yang melewati komponen pasif maka terminal dari komponen tersebut pertamakali dialiri arus akan menjadi potensial lebih tinggi dibandingkan potensial terminal lainnya.
- Bedakan antara sumber tegangan dan pengukur tegangan/ Voltmeter.
Sumber tegangan ($R_d = 0$)
Voltmeter ($R_d = \infty$)



Voltmeter dipasang paralel pada komponen yang akan diukur supaya tidak ada arus yang melalui Voltmeter.

- Bedakan antara sumber arus dan pengukur arus/ Amperemeter
Sumber arus ($R_d = \infty$), Amperemeter ($R_d = 0$)
Amperemeter dipasang seri pada komponen yang akan diukur supaya tegangan pada Amperemeter samadengan nol.



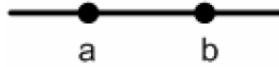
Perlu diingat bahwa rangkaian paralel adalah pembagi arus dan rangkaian seri adalah pembagi tegangan. Pembahasan rangkain seri dan paralel akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

6. Rangkaian Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Sifat : V_{ab} selalu sama dengan 0,

tidak tergantung pada arus I yang mengalir padanya.

$$V_{ab} = 0, R_d = 0$$



7. Rangkaian Terbuka (*Open Circuit*)

Sifat : arus selalu sama dengan 0, tidak tergantung pada tegangan a-b.

$$I = 0, R_d = \infty$$



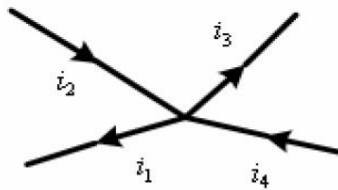
4.9 Hukum Ohm Pada Bahan Penghantar

Jika sebuah penghantar atau resistansi atau hantaran dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung penghantar tersebut akan muncul beda potensial, atau Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan melintasi berbagai jenis bahan penghantar adalah berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui bahan tersebut. Secara matematis : $V = I.R$

4.10 Hukum Kirchhoff I / Kirchhoff's Current Law (KCL)

Jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau node atau simpul sama dengan arus yang meninggalkan percabangan atau node atau simpul.

Secara matematis :



$$\sum i = 0$$

$$i_2 + i_4 - i_1 - i_3 = 0$$

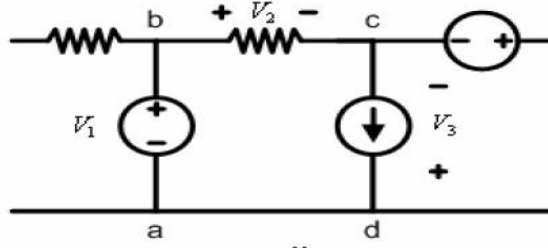
$$\sum \text{ arus } \cdot \text{ masuk } = \sum \text{ arus } \cdot \text{ keluar}$$

$$i_2 + i_4 = i_1 + i_3$$

4.11 Hukum Kirchoff II / Kirchoff's Voltage Law (KVL)

Jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup samadengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai samadengan nol. Secara matematis :

$$\Sigma V = 0$$



Lintasan a-b-c-d-a :

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0$$

$$-V_1 + V_2 - V_3 + 0 = 0$$

$$V_2 - V_1 - V_3 = 0$$

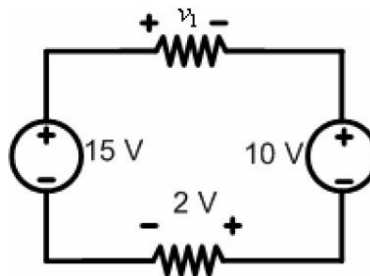
Lintasan a-d-c-b-a :

$$V_{ad} + V_{dc} + V_{cb} + V_{ba} = 0$$

$$V_3 - V_2 + V_1 + 0 = 0$$

$$V_3 - V_2 + V_1 = 0$$

Contoh Latihan :



1. Tentukan v1 pada rangkaian tersebut!

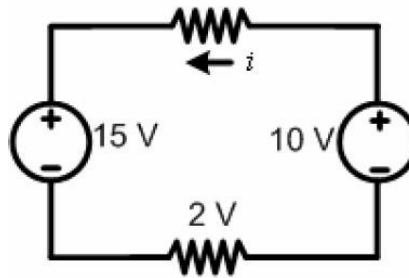
Jawaban :

Hukum KVL :

$$\Sigma v = 0$$

- searah jarum jam
 $+v_1 + 10 + 2 - 15 = 0$
- berlawanan arah jarum jam
 $-v_1 - 10 - 2 + 15 = 0$
 $v_1 = 3V$

2. Tentukan v_1 pada rangkaian tersebut !



Jawaban :

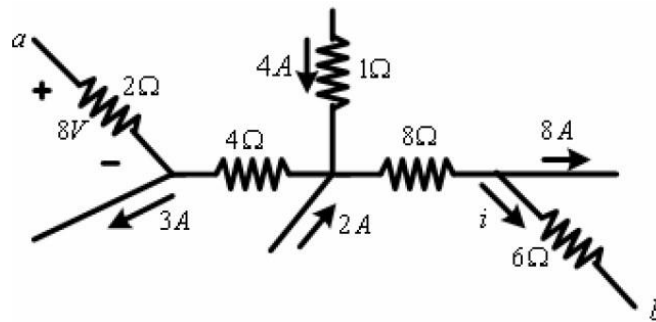
Hukum KVL :

$$\sum v = 0$$

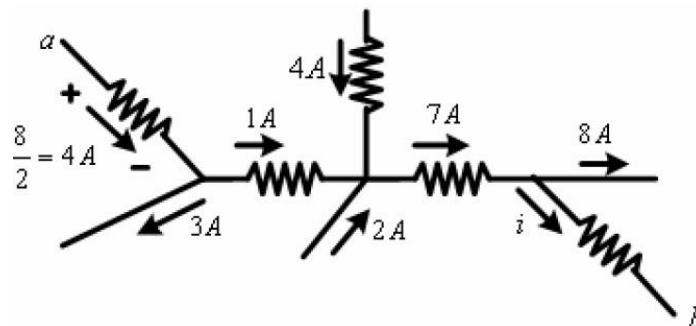
$$+v_1 - 10 + 2 + 15 = 0$$

$$v_1 = -7V$$

3. Tentukan nilai i dan V_{ab} !



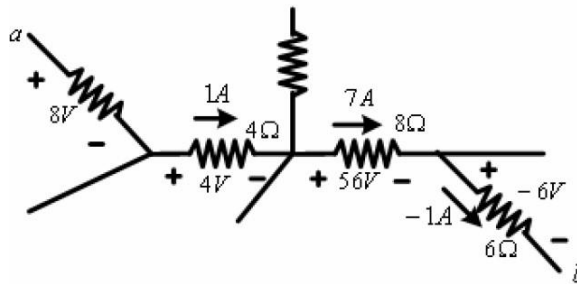
Jawaban:



Hukum KCL :

$$\sum i = 0$$

$$i = -8 + 7 = -1A$$



Hukum KVL :

$$\sum v = 0$$

$$v_{ab} = +8 + 4 + 56 - 6 = 62V$$

4.12 Hubungan Seri dan Paralel Rangkaian

Secara umum digolongkan menjadi 2 :

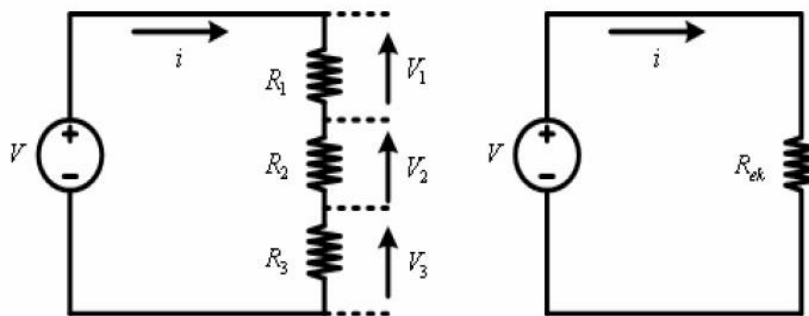
1. Hubungan seri

Jika salah satu terminal dari dua elemen tersambung, akibatnya arus yang lewat akan sama besar.

2. Hubungan parallel

Jika semua terminal terhubung dengan elemen lain dan akibatnya tegangan diantaranya akan sama.

Resistor Hubungan seri :



$$KVL : \sum V = 0$$

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = iR_1 + iR_2 + iR_3$$

$$V = i(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{V}{i} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3$$

Pembagi tegangan :

$$V_1 = I R_1, V_2 = I R_2, V_3 = I R_3$$

Dimana:

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

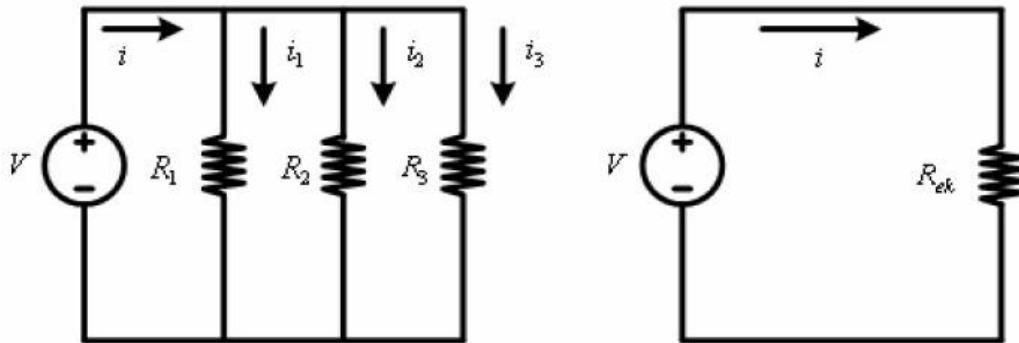
Sehingga :

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

Resistor Hubungan parallel.



KCL :

$$\sum i = 0$$

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

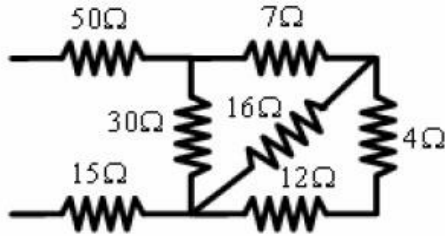
$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{V}{R_{ek}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Contoh latihan :

1. Tentukan nilai Rek pada rangkain tersebut!



Jawaban :

$$R_{s1} = 12 + 4 = 16\Omega$$

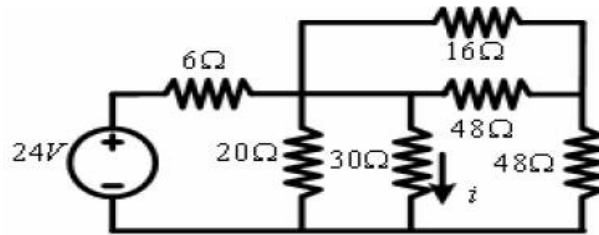
$$R_{s1} // 16\Omega \rightarrow R_{p1} = \frac{16 \times 16}{16 + 16} = 8\Omega$$

$$R_{s2} = R_{p1} + 7\Omega = 8 + 7 = 15\Omega$$

$$R_{s2} // 30\Omega \rightarrow R_{p2} = \frac{15 \times 30}{15 + 30} = 10\Omega$$

$$R_{ek} = R_{p2} + 50\Omega + 15\Omega = 10 + 50 + 15 = 75\Omega$$

2. Tentukan nilai arus i !



Jawaban :

$$R_{p1} = \frac{16 \times 48}{16 + 48} = 12\Omega$$

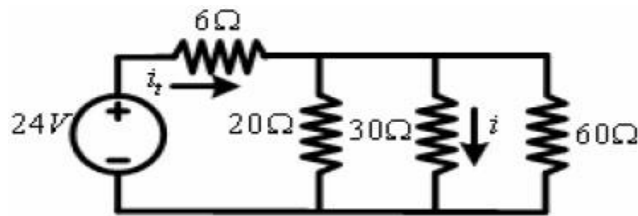
$$R_{s1} = R_{p1} + 48\Omega = 12 + 48 = 60\Omega$$

$$R_{s1} // 30\Omega // 20\Omega \rightarrow R_{p2} = \frac{R_{s1} \cdot 30 \cdot 20}{R_{s1} \cdot 30 + R_{s1} \cdot 20 + 30 \cdot 20}$$

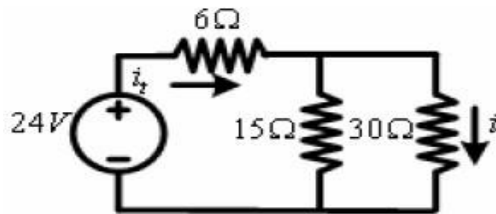
$$R_{p2} = 10\Omega$$

$$R_{ek} = R_{p2} + 6\Omega = 10 + 6 = 16\Omega$$

$$i_t = \frac{24}{16} = \frac{3}{2} A$$

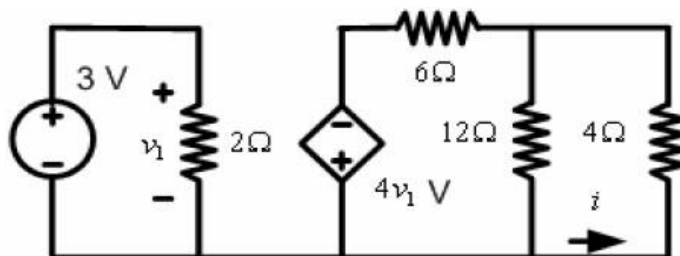


$$20\Omega // 60\Omega \rightarrow R_p = \frac{20 \cdot 60}{20 + 60} = 15\Omega$$



$$i = \frac{15}{15 + 30} i_t = \frac{15}{45} \cdot \frac{3}{2} = \frac{1}{2} A$$

3. Tentukan nilai arus i !



Jawaban :

$$v_1 = 3V$$

$$12\Omega // 4\Omega \rightarrow R_p = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = 3\Omega$$

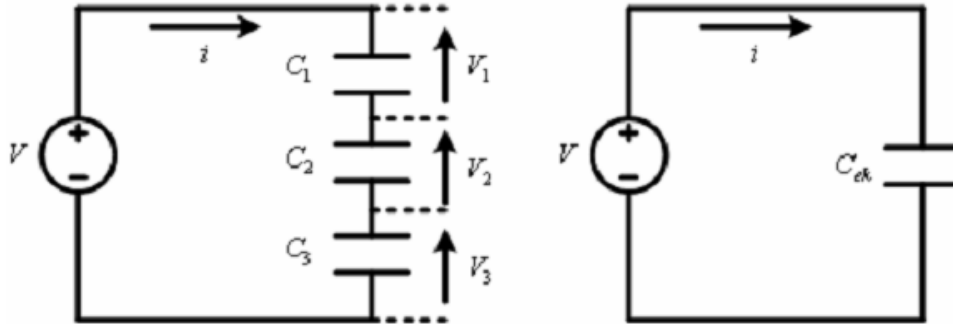
$$v_{R_p} = \frac{R_p}{R_p + 6\Omega} \times 4v_1 = \frac{3}{9} \times 12 = 4V$$

sehingga :

$$i = \frac{v_{R_p}}{4\Omega} = \frac{4}{4} = 1A$$

Kapasitor (C)

Hubungan seri.



$$KVL : \sum V = 0$$

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_2} \int idt + \frac{1}{C_3} \int idt$$

$$\frac{1}{C_{ek}} \int idt = \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_2} \int idt + \frac{1}{C_3} \int idt$$

$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Pembagi tegangan :

$$V_1 = \frac{1}{C_1} \int idt$$

$$V_2 = \frac{1}{C_2} \int idt$$

$$V_3 = \frac{1}{C_3} \int idt$$

$$\text{dim ana} \rightarrow V = \frac{1}{C_{ek}} \int idt$$

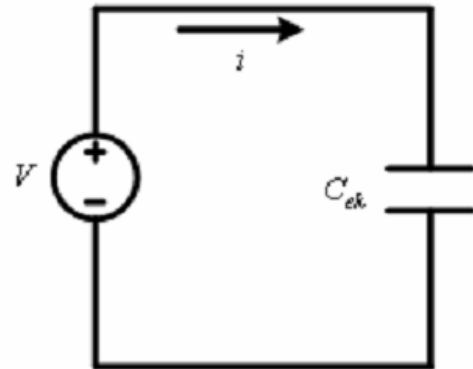
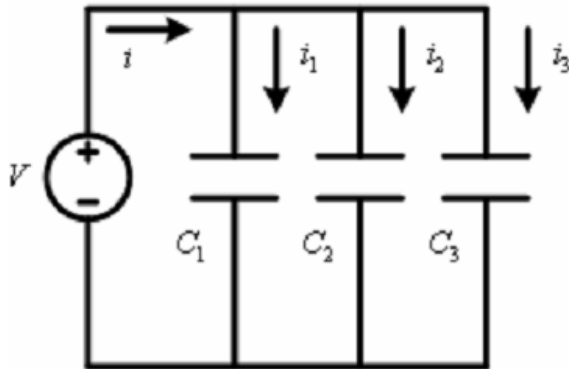
sehingga :

$$V_1 = \frac{C_{ek}}{C_1} V$$

$$V_2 = \frac{C_{ek}}{C_2} V$$

$$V_3 = \frac{C_{ek}}{C_3} V$$

Hubungan paralel :



KCL :

$$\sum i = 0$$

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$C_{ek} \frac{dV}{dt} = C_1 \frac{dV}{dt} + C_2 \frac{dV}{dt} + C_3 \frac{dV}{dt}$$

$$C_{ek} = C_1 + C_2 + C_3$$

Pembagi arus :

$$i_1 = C_1 \frac{dV}{dt}$$

$$i_2 = C_2 \frac{dV}{dt}$$

$$i_3 = C_3 \frac{dV}{dt}$$

$$\text{dim ana} \rightarrow i = C_{ek} \frac{dV}{dt} \rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{i}{C_{ek}}$$

Sehingga :

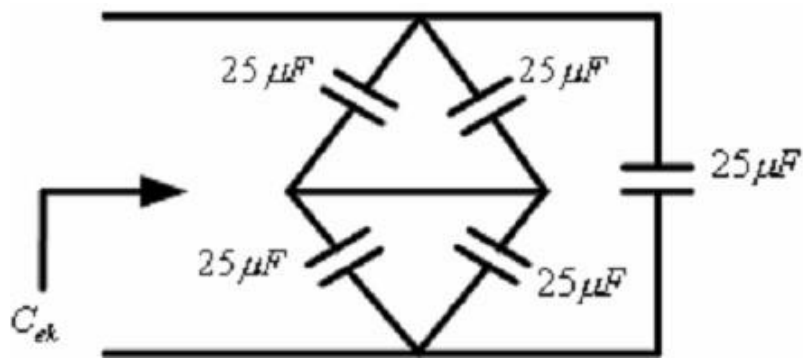
$$i_1 = \frac{C_1}{C_{ek}} i$$

$$i_2 = \frac{C_2}{C_{ek}} i$$

$$i_3 = \frac{C_3}{C_{ek}} i$$

Contoh

Tentukan Cek pada rangkaian tersebut!



Jawaban :

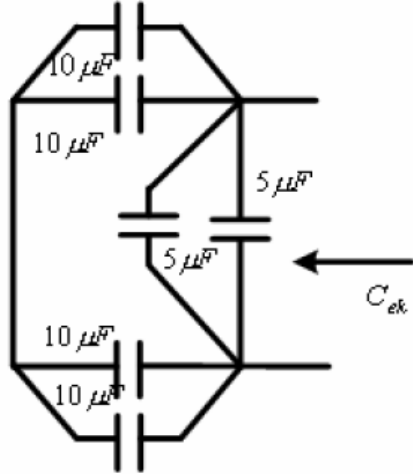
$$C_{p1} = 25\ \mu F + 25\ \mu F = 50\ \mu F$$

$$C_{p2} = 25\ \mu F + 25\ \mu F = 50\ \mu F$$

$$C_s = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25\ \mu F$$

$$C_{ek} = C_s + 25\ \mu F = 25 + 25 = 50\ \mu F$$

1. Tentukan Cek !



Jawaban :

$$C_{p1} = 10 \mu F + 10 \mu F = 20 \mu F$$

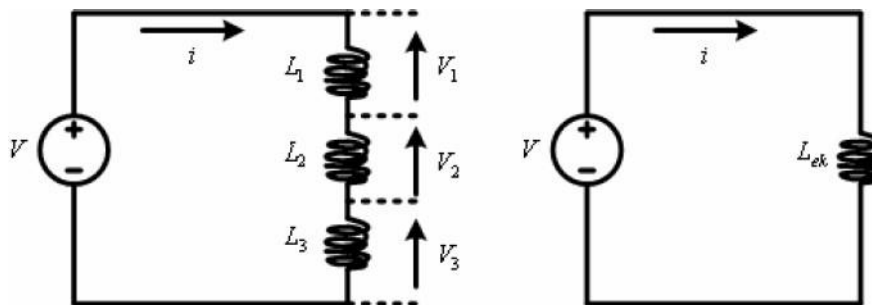
$$C_{p1} = 10 \mu F + 10 \mu F = 20 \mu F$$

$$C_s = \frac{20 \times 20}{20 + 20} = 10 \mu F$$

$$C_s // 5 \mu F // 5 \mu F \rightarrow C_{ek} = C_s + 5 \mu F + 5 \mu F = 20 \mu F$$

Induktor (L)

Hubungan seri :



$$KVL : \sum V = 0$$

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt}$$

$$L_{ek} \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt}$$

$$L_{ek} = L_1 + L_2 + L_3$$

Pembagi tegangan :

$$V_1 = L_1 \frac{di}{dt}$$

$$V_2 = L_2 \frac{di}{dt}$$

$$V_3 = L_3 \frac{di}{dt}$$

$$\text{dimana} \rightarrow V = L_{ek} \frac{di}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{V}{L_{ek}}$$

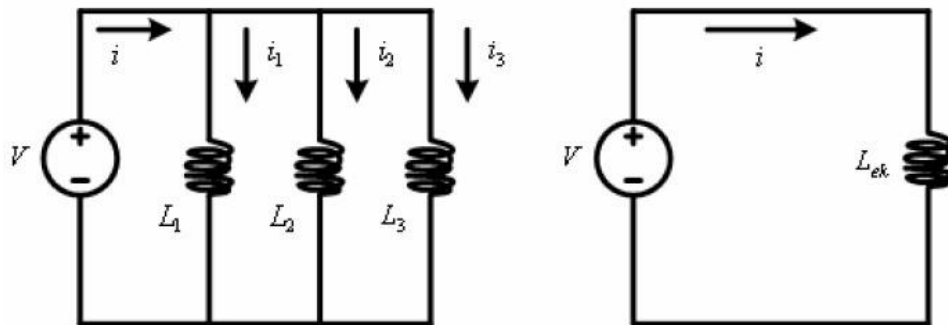
sehingga :

$$V_1 = \frac{L_1}{L_{ek}} V$$

$$V_2 = \frac{L_2}{L_{ek}} V$$

$$V_3 = \frac{L_3}{L_{ek}} V$$

Hubungan paralel :



KCL :

$$\sum i = 0$$

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{1}{L_{ek}} \int V dt = \frac{1}{L_1} \int V dt + \frac{1}{L_2} \int V dt + \frac{1}{L_3} \int V dt$$

$$\frac{1}{L_{ek}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Pembagi arus ;

$$i_1 = \frac{1}{L_1} \int V dt$$

$$i_2 = \frac{1}{L_2} \int V dt$$

$$i_3 = \frac{1}{L_3} \int V dt$$

$$\text{dim ana} \rightarrow i = \frac{1}{L_{ek}} \int V dt \rightarrow \int V dt = L_{ek} i$$

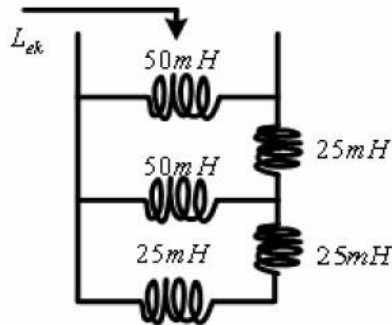
$$i_1 = \frac{L_{ek}}{L_1} i$$

$$i_2 = \frac{L_{ek}}{L_2} i$$

$$i_3 = \frac{L_{ek}}{L_3} i$$

Contoh Latihan:

1. Tentukan nilai Lek !



Jawaban :

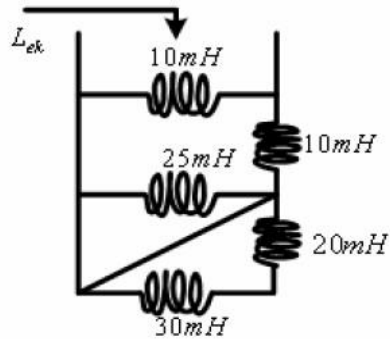
$$L_{s1} = 25mH + 25mH = 50mH$$

$$L_{s1} // 50mH \rightarrow L_{p1} = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25mH$$

$$L_{s2} = L_{p1} + 25mH = 25 + 25 = 50mH$$

$$L_{s2} // 50mH \rightarrow L_{ek} = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25mH$$

2. Tentukan nilai L_{ek} !



Jawaban :

$$L_{s1} = 30mH + 20mH = 50mH$$

$$L_{s1} // 0 // 25mH \rightarrow L_{p1} = 0mH$$

$$L_{s2} = L_{p1} + 10mH = 0 + 10 = 10mH$$

$$L_{s2} // 10mH \rightarrow L_{ek} = \frac{L_{s2} \times 10}{L_{s2} + 10}$$

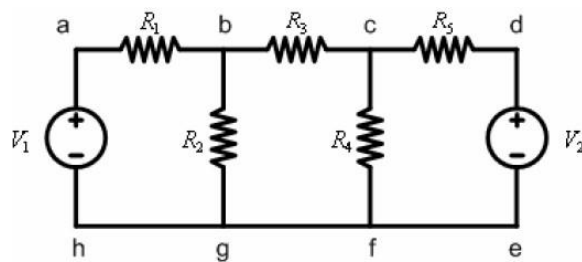
$$L_{ek} = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5mH$$

4.13 Metode Analisis Rangkaian

Metoda analisis rangkaian sebenarnya merupakan salah satu alat bantu untuk menyelesaikan suatu permasalahan yang muncul dalam menganalisis suatu rangkaian, bilamana konsep dasar atau hukum-hukum dasar seperti Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff tidak dapat menyelesaikan permasalahan pada rangkaian tersebut. Pada bab ini akan dibahas tiga metoda analisis rangkaian yang akan dipakai, yaitu : analisis node, analisis mesh dan analisis arus cabang.

4.13.1 Analisis Node

Sebelum membahas metoda ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu pengertian mengenai tentang node. Node atau titik simpul adalah titik pertemuan dari dua atau lebih elemen rangkaian. Junction atau titik simpul utama atau titik percabangan adalah titik pertemuan dari tiga atau lebih elemen rangkaian. Untuk lebih jelasnya mengenai dua pengertian dasar diatas, dapat dimodelkan dengan contoh gambar berikut.



Jumlah node = 5, yaitu : a, b, c, d, e=f=g=h

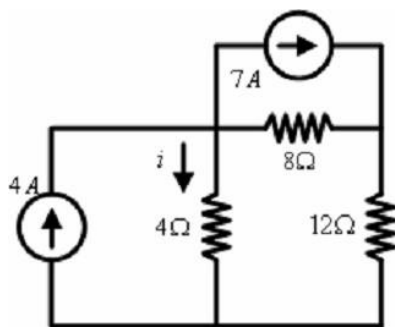
Jumlah junction = 3, yaitu : b, c, e=f=g=h

Analisis node berprinsip pada Hukum Kirchoff I/ KCL dimana jumlah arus yang masuk dan keluar dari titik percabangan akan samadengan nol, dimana tegangan merupakan parameter yang tidak diketahui. Atau analisis node lebih mudah jika pencatunya semuanya adalah sumber arus. Analisis ini dapat diterapkan pada sumber searah/ DC maupun sumber bolak-balik/ AC. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada analisis node, yaitu :

- Tentukan node referensi sebagai *ground*/ potensial nol.
- Tentukan *node voltage*, yaitu tegangan antara node non referensi dan ground.
- Asumsikan tegangan node yang sedang diperhitungkan lebih tinggi daripada tegangan node manapun, sehingga arah arus keluar dari node tersebut positif.
- Jika terdapat N node, maka jumlah *node voltage* adalah (N-1). Jumlah *node voltage* ini akan menentukan banyaknya persamaan yang dihasilkan.

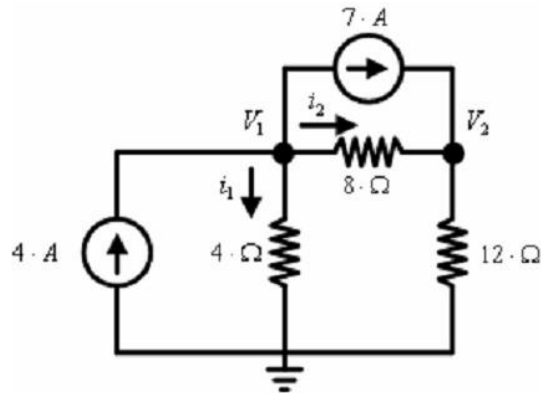
Contoh latihan :

1. Tentukan nilai i dengan analisis node !



Jawaban :

1. Tentukan node referensinya/ground
2. Tentukan node voltage
3. Jumlah $N=3$, jumlah persamaan $(N - 1) = 2$



Tinjau node voltage V_1 :

KCL :

$$\sum i = 0 \rightarrow 4 - 7 - i_1 - i_2 = 0$$

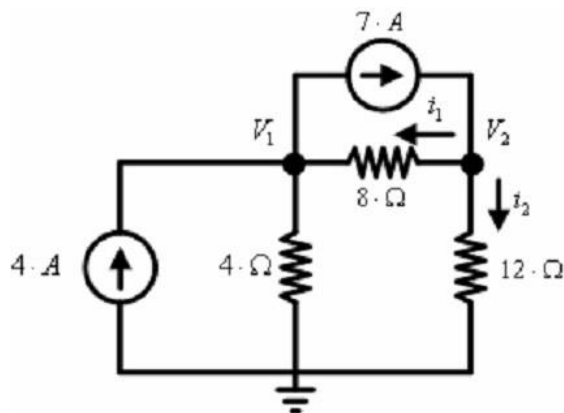
$$i_1 + i_2 = -3$$

$$\frac{V_1 - V_g}{4} + \frac{V_1 - V_2}{8} = -3 \rightarrow V_g = 0$$

$$\frac{V_1 - 0}{4} + \frac{V_1 - V_2}{8} = -3$$

$$2V_1 + V_1 - V_2 = -24$$

$$3V_1 - V_2 = -24 \dots\dots (1)$$



Tinjau node voltage V_2 :

KCL :

$$\sum i = 0 \rightarrow 7 - i_1 - i_2 = 0$$

$$i_1 + i_2 = 7$$

$$\frac{V_2 - V_1}{8} + \frac{V_2 - V_g}{12} = 7 \rightarrow V_g = 0$$

$$\frac{V_2 - V_1}{8} + \frac{V_2 - 0}{12} = 7$$

$$3(V_2 - V_1) + 2V_2 = 168$$

$$5V_2 - 3V_1 = 168 \dots (2)$$

Dari kedua persamaan diatas, dapat diselesaikan dengan 2 cara, yaitu :

1. Cara substitusi.

$$3V_1 - V_2 = -24$$

$$\underline{-3V_1 + 5V_2 = 168}_+$$

$$4V_2 = 144 \rightarrow V_2 = 36 \cdot \text{volt}$$

V2 dapat dimasukkan kedalam satu persamaan, misalkan persamaan (1) :

$$3V_1 - V_2 = -24$$

$$3V_1 - 36 = -24$$

$$3V_1 = 36 - 24 = 12 \rightarrow V_1 = 4 \cdot \text{volt}$$

$$i = \frac{V_1 - V_g}{4} = \frac{4 - 0}{4} = 1 \cdot A$$

2. Cara Metoda Cramer

Menggunakan matrik :

$$3V_1 - V_2 = -24$$

$$-3V_1 + 5V_2 = 168$$

Matrik :

$$\begin{pmatrix} 3 & -1 \\ -3 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -24 \\ 168 \end{pmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ -3 & 5 \end{vmatrix} = 3 \cdot 5 - (-1) \cdot (-3) = 12$$

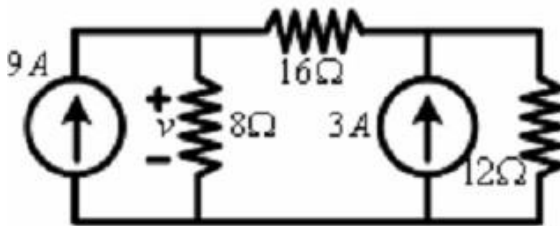
Sehingga ;

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -24 & -1 \\ 168 & 5 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{-24 \cdot 5 - (-1) \cdot 168}{12} = 4 \cdot \text{volt}$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -24 \\ -3 & 168 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{3 \cdot 168 - (-24) \cdot (-3)}{12} = 36 \cdot \text{volt}$$

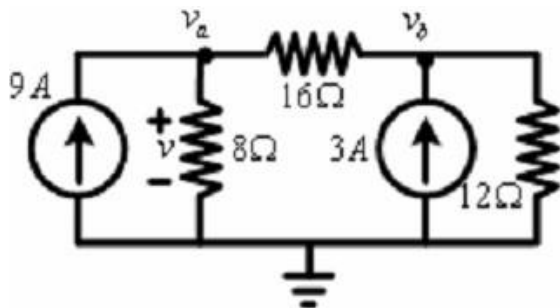
$$i = \frac{V_1 - V_g}{4} = 1 \cdot A$$

2. Tentukan nilai tegangan v dengan analisis node !



Jawaban :

- Tentukan node referensinya/ground
- Tentukan node voltage



Tinjau node voltage V_a :

$$\sum i = 0$$

$$\frac{v_a - v_b}{16} + \frac{v_a - 0}{8} - 9 = 0$$

$$\frac{v_a - v_b}{16} + \frac{v_a}{8} = 9$$

$$3v_a - v_b = 144 \dots \dots (1)$$

Tinjau node voltage V_b :

$$\Sigma i = 0$$

$$\frac{v_b - v_a}{16} + \frac{v_b - 0}{12} - 3 = 0$$

$$\frac{v_b - v_a}{16} + \frac{v_b}{12} = 3$$

$$-3v_a + 7v_b = 144 \dots\dots\dots (2)$$

Substitusikan pers. (1) dan (2) :

$$3v_a - v_b = 144$$

$$-3v_a + 7v_b = 144 +$$

$$6v_b = 288 \rightarrow v_b = \frac{288}{6} = 48V$$

Masukan nilai V_b ke persamaan (1) :

$$3v_a - v_b = 144$$

$$3v_a - 48 = 144$$

$$3v_a = 144 + 48 = 192$$

$$v_a = \frac{192}{3} = 64V$$

4.13.2 Analisis Mesh atau Arus Loop

Arus loop adalah arus yang dimisalkan mengalir dalam suatu loop (lintasan tertutup). Arus loop sebenarnya tidak dapat diukur (arus permisalan). Berbeda dengan analisis node, pada analisis ini berprinsip pada Hukum Kirchoff II/ KVL dimana jumlah tegangan pada satu lintasan tertutup samadengan nol atau arus merupakan parameter yang tidak diketahui. Analisis ini dapat diterapkan pada rangkaian sumber searah/ DC maupun sumber bolak-balik/ AC.

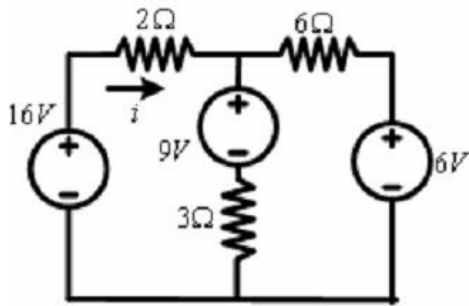
Hal-hal yang perlu diperhatikan :

1. Buatlah pada setiap loop arus asumsi yang melingkari loop. Pengambilan arus loop terserah kita yang terpenting masih dalam satu lintasan tertutup. Arah arus dapat searah satu sama lain ataupun berlawanan baik searah jarum jam maupun berlawanan dengan arah jarum jam.

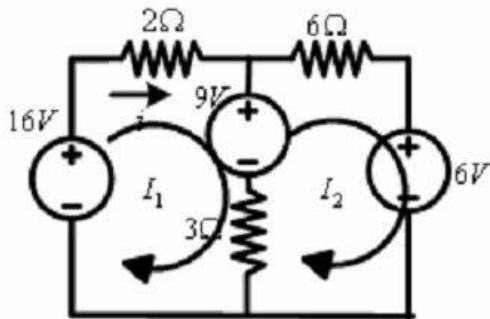
2. Biasanya jumlah arus loop menunjukkan jumlah persamaan arus yang terjadi.
3. Metoda ini mudah jika sumber pencatunya adalah sumber tegangan.
4. Jumlah persamaan = Jumlah cabang – Jumlah junction + 1

Contoh latihan :

1. Tentukan nilai arus i dengan analisis mesh!



Jawaban :



Tinjau loop I1 :

$$\sum v = 0$$

$$-16 + 2I_1 + 9 + 3(I_1 - I_2) = 0$$

$$5I_1 - 3I_2 = 7 \dots\dots\dots (1)$$

Tinjau loop I2 :

$$\sum v = 0$$

$$-9 + 6 + 6I_2 + 3(I_2 - I_1) = 0$$

$$-3I_1 + 9I_2 = 3 \dots\dots\dots (2)$$

Substitusikan persamaan (1) dan (2) :

$$5I_1 - 3I_2 = 7 \dots \times 3$$

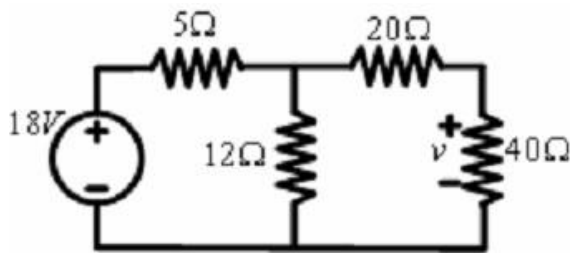
$$\underline{-3I_1 + 9I_2 = 3 \dots \times 1 +}$$

$$12I_1 = 24$$

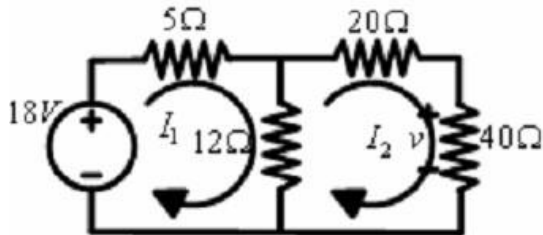
$$I_1 = \frac{24}{12} = 2A$$

$$\text{sehingga : } i = I_1 = 2A$$

2. Tentukan nilai tegangan v dengan analisis mesh!



Jawaban :



Tinjau loop I1:

$$-18 + 5I_1 + 12(I_1 - I_2) = 0$$

$$17I_1 - 12I_2 = 18 \dots (1)$$

Tinjau loop I2:

$$20I_2 + 40I_2 + 12(I_2 - I_1) = 0$$

$$-12I_1 + 72I_2 = 0 \dots (2)$$

substitusikan persamaan (1) dan (2) :

$$-12I_1 + 72I_2 = 0 \rightarrow I_1 = \frac{72}{12}I_2$$

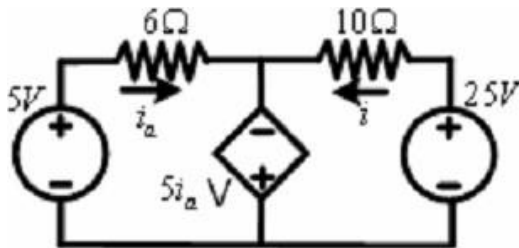
$$17I_1 - 12I_2 = 18$$

$$102I_2 - 12I_2 = 18 \rightarrow 90I_2 = 18$$

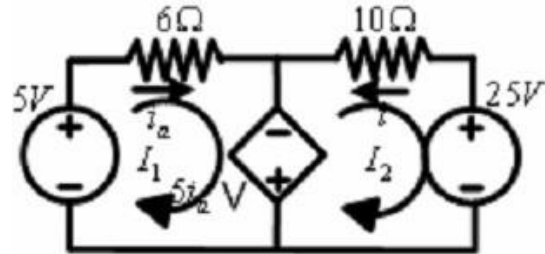
$$I_2 = \frac{18}{90} = \frac{2}{10} A$$

$$\text{sehingga : } v = I_2 \times 40\Omega = \frac{2}{10} \times 40 = 8V$$

3. Tentukan nilai i dengan analisis mesh!



Jawaban :



Tinjau loop I1 :

$$\Sigma v = 0$$

$$-5 + 6I_1 - 5i_a = 0$$

$$\text{dimana : } I_1 = i_a$$

$$-5 + 6i_a - 5i_a = 0 \rightarrow i_a = 5A$$

Tinjau loop I2 :

$$\Sigma v = 0$$

$$+5i_a + 10I_2 + 25 = 0$$

$$25 + 10I_2 + 25 = 0 \rightarrow I_2 = \frac{-50}{10} = -5A$$

$$i = -I_2 = -(-5) = 5A$$

4.13.3 Analisis Arus Cabang

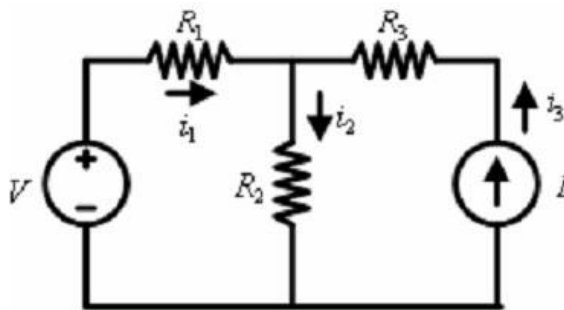
Arus cabang adalah arus yang benar-benar ada (dapat diukur) yang mengalir pada suatu cabang. Artinya arus cabang adalah arus yang sebenarnya mengalir pada percabangan tersebut.

Arti cabang :

1. Mempunyai satu elemen rangkaian.
2. Bagian rangkaian dengan dua terminal dengan arus yang sama.
3. Jumlah persamaan = Jumlah arus cabang yang ada

Contoh latihan :

1. Tentukan semua persamaan yang ada !



Jawaban :

$$\Sigma \text{ persamaan} = \Sigma \text{ arus cabang} = 3$$

Tinjau arus cabang i_1 dan i_2 :

$$\Sigma \bar{V} = 0$$

$$i_1 R_1 + i_2 R_2 - V = 0 \dots\dots(1)$$

Tinjau arus cabang i_3 :

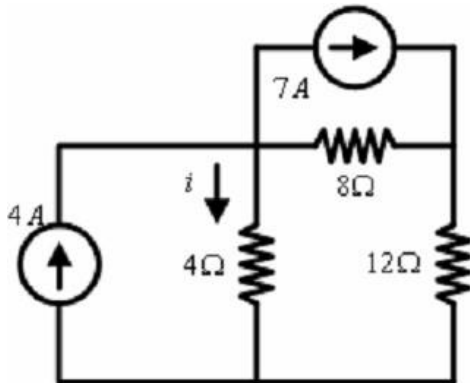
$$i_3 = I \dots\dots\dots(2)$$

Tinjau arus cabang i_2 :

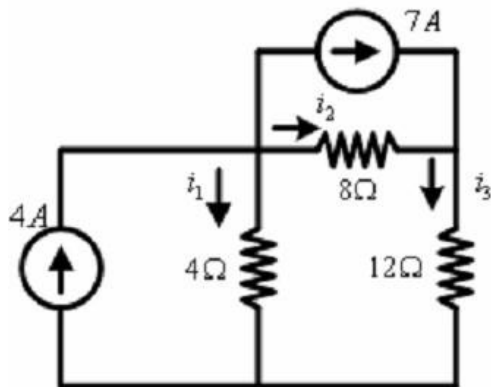
$$\Sigma \bar{i} = 0$$

$$i_1 + i_3 = i_2 \dots\dots\dots(3)$$

2. Tentukan nilai i dengan analisis arus cabang !



Jawaban :



Tinjau arus cabang i_1 dan i_2 :

$$i_1 + i_2 + 7 = 4$$

$$i_1 + i_2 = -3 \dots \dots \dots (1)$$

Tinjau arus cabang i_2 dan i_3 :

$$i_2 + 7 = i_3$$

$$i_2 - i_3 = -7 \dots \dots \dots (2)$$

Tinjau lintasan tertutup semua arus cabang

$$\sum v = 0$$

$$8i_2 + 12i_3 - 4i_1 = 0 \dots \dots \dots (3)$$

Dengan menggunakan Metoda Cramer :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -4 & 8 & 12 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 \\ -7 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} -3 & 1 & 0 \\ -7 & 1 & -1 \\ 0 & 8 & 12 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -4 & 8 & 12 \end{vmatrix}} = \frac{-3 \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 8 & 12 \end{vmatrix} - 1 \begin{vmatrix} -7 & -1 \\ 0 & 12 \end{vmatrix} + 0 \begin{vmatrix} -7 & 1 \\ 0 & 8 \end{vmatrix}}{1 \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 8 & 12 \end{vmatrix} - 1 \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -4 & 12 \end{vmatrix} + 0 \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -4 & 8 \end{vmatrix}} = \frac{24}{24} = 1A$$

sehingga : $i = i_1 = 1A$

DAFTAR PUSTAKA

Achjar Chalil, 2005, Pengenalan Alat Ukur Elektronik Modul ELKA-MR.UM.005.

Marthen Kanginan, 2006, Seribu Pena Fisika XII, Erlangga. Jakarta.

Mohammad Ramadhani, 2005, Rangkaian Listrik. Sekolah Tinggi Teknologi
Telkom, Bandung.

Software, 2012, Proteus 7.9.

Sutrisno, Nurul Ain, 2009, Elektronika Dasar 1, Jurusan pendidikan Fisika

UNIKAMA

Yohanes surya, 2009, Listrik dan Magnet Seri Bahan Persiapan Olimpiade Fisika. PT
Kandel, Tangerang.